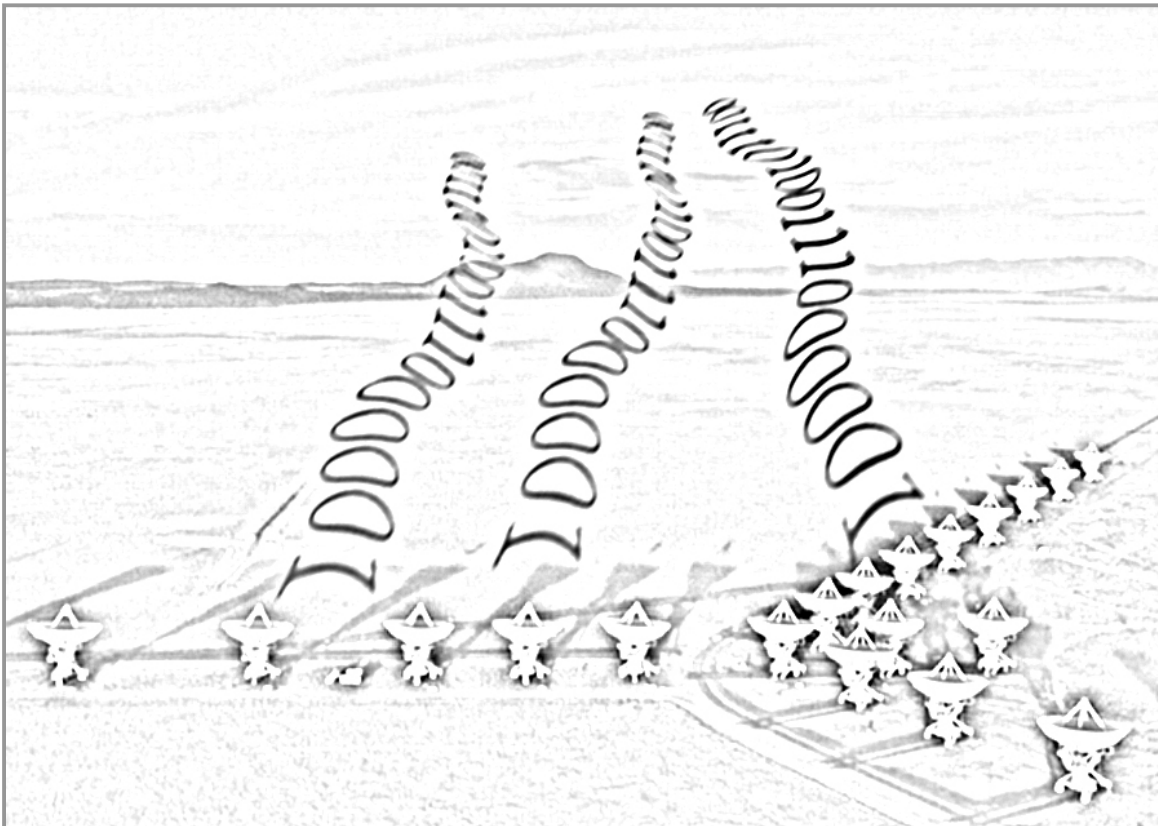


Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Τμήμα Φυσικής  
Τομέας Αστροφυσικής, Αστρονομίας και Μηχανικής  
Εργαστήριο Αστρονομίας

## European Pulsar Network format (EPN)

*Διπλωματική εργασία  
του  
Αριστείδη Νούτσου*



*Επιβλέπων καθηγητής: Ι.Χ. Σειραδάκης*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η προσπάθεια για την εξερεύνηση των pulsars χρειάζεται τη συμβολή πολλών ερευνητικών κέντρων ανα τον κόσμο και ταυτόχρονα τα πειραματικά δεδομένα πρέπει να είναι διαθέσιμα σε όλους τους επιστήμονες. Ένας κοινός κώδικας επικοινωνίας με μαθηματική συνέπεια είναι το κλειδί σε αυτήν την προσπάθεια. Λαμβάνοντας υπ' όψη την εξάπλωση των ηλεκτρονικών υπολογιστών στις μέρες μας, είναι φανερό ότι η ηλεκτρονική μορφή είναι η πιο κατάλληλη για την αποθήκευση και χρησιμοποίηση των αστρονομικών δεδομένων. Στην εργασία αυτή γίνεται μια προσπάθεια περιγραφής ενός format δεδομένων, του EPN format (European Pulsar Network format), το οποίο κρίνεται ικανό να παίξει το ρόλο του κοινού κώδικα επικοινωνίας μεταξύ των ραδιοαστρονόμων, στο χώρο της μελέτης των pulsars. Υπάρχει αναφορά στα πλεονεκτήματα του EPN format καθώς και στο λογισμικό JHSTAT που χρησιμοποιείται για την ανάγνωση και τη στατιστική επεξεργασία δεδομένων από τους pulsars. Τέλος, χρησιμοποιείται ένα σετ δεδομένων προερχόμενο από το ινστιτούτο ραδιοαστρονομίας της Βόννης, σε EPN format για την πρώτη ανάλυση των δεδομένων του pulsar PSR B0329+54 σε δύο διαφορετικές συχνότητες από ταυτόχρονες παρατηρήσεις.

# Περιεχόμενα

<b>Εισαγωγή (G)</b> .....	<b>7</b>
Γενικά για τα PULSARS.....	7
Η φύση των PULSARS.....	8
Το είδος της ακτινοβολίας των PULSARS.....	9
Οι παλμοί των PULSARS.....	10
i) Χρονικές ιδιότητες.....	10
ii) Πολωσιμετρικές ιδιότητες και ανώμαλα φαινόμενα.....	12
Επίδραση του μεσοαστρικού χώρου.....	14
i) Διασπορά ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	14
ii) Στροφή Faraday.....	15
iii) Μεσοαστρικός σπινθηρισμός.....	15
iv) Πλάτωση της διάρκειας των παλμών.....	16
Τύποι PULSARS.....	16
<b>Αστρονομικά FORMATS δεδομένων (G)</b> .....	<b>17</b>
Τα DATA FORMATS και η χρήση τους.....	17
Η ανάγκη για ένα κοινό DATA FORMAT.....	18
i) Γιατί χρειαζόμαστε ένα κοινό format για την ανάλυση των δεδομένων μας;.....	18
ii) Ποιές προϋποθέσεις θα πρέπει να πληροί ένα τέτοιο format;.....	19
iii) Υπάρχουν αυτήν τη στιγμή formats τα οποία είναι κατάλληλα για κοινή χρήση από την αστρονομική κοινότητα; Ποιά είν' αυτά;.....	21
iv) Μια σύντομη περιγραφή της δομής του κάθε format.....	23
FITS (Flexible Image Transport System).....	23
EPOS (Effelsberg Pulsar Observing System).....	24
XML (eXtensible Markup Language).....	25
<b>ΤΟ EPN FORMAT (E)</b> .....	<b>27</b>
Η ΔΟΜΗ Τ'Ν EPN ΑΡΧΕΙ'Ν.....	28
EPN header.....	28
EPN sub-header.....	32
EPN data.....	33
<b>X_ΗΣ_ΜΟΠΟ_ΝΤΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ PULSARS (E)</b> .....	<b>34</b>
ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ JHSPULS.....	34
ΔΙΑΒΑΖΟΝΤΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΕΤΟΝΤΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	37
Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ JHSPULS. ΤΟ JHSEPN.....	37
Τα αναγκαία αρχεία για την εκτέλεση του προγράμματος.....	38
Επεξήγηση των κυριότερων υπορουτίνων.....	38
Μετατροπές στον κυρίως κώδικα.....	42
Περιοχή δηλώσεων.....	42
Περιοχή του κυρίως μενού.....	43
Περιοχή των εντολών.....	43
Μετατροπές στις παλαιότερες υπορουτίνες.....	45
<b>Η ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (E)</b> .....	<b>47</b>
ΤΟ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	48
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΕΝΑ ΠΑΛΜΟ.....	48
Mean.....	49
Sigma.....	49
Skewness.....	50
Kurtosis.....	52
ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ.....	54

ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	54
ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΔΥΟ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ: PSR B0329+54.....	55
<i>Προηγούμενη εργασία</i> .....	55
<i>Τα δεδομένα</i> .....	56
Τα σετ δεδομένων.....	56
Lovell set (1.41 GHz).....	56
Effelsberg set (2.69 GHz).....	58
Η σύγκριση.....	60
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	62
ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	63
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	65
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ &amp; ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ.....</b>	<b>67</b>

*Στους γονείς μου*



## Εισαγωγή

### *Γενικά για τα pulsars*

Ο έναστρος ουρανός που παρατηρούμε τη νύχτα αποτελείται από χιλιάδες αστέρων, τους οποίους μπορούμε να διακρίνουμε με γυμνό μάτι. Μπορούμε ίσως με κάποια πιο προσεκτική παρατήρηση να διακρίνουμε ακόμα και μερικούς πιο αμυδρούς. Παρ' όλ' αυτά το σύμπαν περιέχει μια σωρεία από αστρικά αντικείμενα, των οποίων η ακτινοβολία κατανέμεται κυρίως σε άλλα μήκη κύματος εκτός των οπτικών. Αναφέροντας ορισμένα θα συναντήσουμε τους *ραδιογαλαξίες*, όπως ο M87 στο σμήνος της παρθένου, τα *Quasars* (*quasistellar radio source*) όπως το 3C273, τις *πηγές ακτίνων X*, όπως η Cygnus X-1, της οποίας πηγή ενέργειας εικάζεται ότι είναι μια μελανή οπή, τις εκρήξεις υπερκαινοφανών, κατά τη διάρκεια των οποίων εκλύονται μεγάλες ποσότητες *ακτινοβολίας γάμμα* και τέλος να αναφέρουμε τις πλέον «καταξιωμένες» ραδιοπηγές του σύμπαντος, τους *pulsars*, όπως το Crab pulsar που εδράζεται στο νεφέλωμα του Καρκίνου. Οι σελίδες που θα ακολουθήσουν αναφέρονται στα τελευταία και κυρίως στην ανάλυση των πληροφοριών που λαμβάνουμε από τους pulsars μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας τους.

## *Η φύση των pulsars*

Οι pulsars ή παλλόμενοι αστέρες είναι αυτό που υποδηλώνει το όνομά τους, δηλαδή αστέρες, των οποίων η «συμπεριφορά» έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρομαγνητικών παλμών, τους οποίους και λαμβάνουμε για τη μελέτη τους. Οι αστέρες αυτοί είναι απομεινάρια της βίαιας έκρηξης που λαμβάνει μέρος στο τελευταίο στάδιο της ζωής των μεγάλης μάζας αστέρων ( $6M_{\odot} < M < 20M_{\odot}$ ). Κατά το στάδιο αυτό τα καύσιμα του αστέρα έχουν εξαντληθεί και η θερμοκρασία στον πυρήνα δεν είναι ικανή να προκαλέσει περαιτέρω καύσεις. Έτσι ο πυρήνας ( ${}^{56}\text{Fe}$ , μέγιστη ενέργεια σύνδεσης ανά νουκλεόνιο) καταρρέει κάτω από την ίδια τη βαρύτητά του σχηματίζοντας έναν αστέρα νετρονίων, μάζας το πολύ μέχρι  $3.2M_{\odot}$ . Το υπόλοιπο της αρχικής μάζας του αστέρα εκτινάσσεται με μεγάλη ταχύτητα συνοδευόμενο από ισχυρή εκπομπή ακτινοβολίας γάμμα και νετρίνο (φάση ελεύθερης διαστολής). Το όλο φαινόμενο αντιστοιχεί σε υπερκαινοφανή τύπου II. Λόγω του γεγονότος ότι όλοι αστέρες έχουν μια περίοδο αξονικής περιστροφής όπως επίσης κι ένα μαγνητικό πεδίο, με βάση τη διατήρηση της στροφορμής και της μαγνητικής ροής του αστέρα, είναι δυνατόν να δειχθεί ότι η περίοδος περιστροφής του αστέρα νετρονίου είναι της τάξης του msec, καθώς και ότι η μαγνητική επαγωγή αγγίζει τα  $10^{12}$  G. Το μοντέλο του ταχέως περιστρεφόμενου μαγνητισμένου αστέρα νετρονίων είναι αυτό που ονομάζουμε pulsar.

Η τεράστια ενέργεια, η οποία εκλύεται από τέτοιου είδους αστρικά αντικείμενα, δύναται να εξηγηθεί με την υπόθεση ότι πρόκειται για ακτινοβολία μαγνητικού διπόλου, ακτίνας της τάξης της ακτίνας του αστέρα νετρονίων. Σύμφωνα με αυτήν τη θεώρηση, τα ταχύτατα περιστρεφόμενα σωματίδια του πλάσματος της επιφάνειας του αστέρα, συνιστούν μεταβαλλόμενα κυκλικά ρεύματα, τα οποία είναι ο παράγοντας δημιουργίας ισχυρής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτό όμως προϋποθέτει ένα ρυθμό επιβράδυνσης της περιστροφής του pulsar -τον λόγο του οποίου θα εξηγήσουμε παρακάτω- που όμως δεν έχει παρατηρηθεί επακριβώς. Αντ' αυτού οι παρατηρηθείσες τιμές δείχνουν ότι το μοντέλο αυτό δε μπορεί να σταθεί μόνο του και χρειάζεται να επέλθουν βελτιώσεις. Παρά ταύτα η έρευνα στον τομέα του μηχανισμού εκπομπής της ακτινοβολίας των pulsar συνεχίζεται και όλο και καινούρια μοντέλα κατασκευάζονται, που πιθανόν στο μέλλον να προβλέπουν όλες τις ιδιότητές τους.

Όπως αναφέρθηκε, η περίοδος περιστροφής ενός pulsar πρέπει να αυξάνει με την πάροδο του χρόνου, πράγμα που αποδεικνύουν οι παρατηρήσεις των ραδιοπαλμών που καταφθάνουν ως εμάς, αλλά και επαληθεύουν οι σε όλο το H/M φάσμα ενέργειες που εκπέμπει ο περι του pulsar μεσοαστρικός χώρος. Πιο συγκεκριμένα, είναι γνωστό ότι στο κέντρο του νεφελώματος του Καρκίνου βρίσκεται το απομεινάρια μίας έκρηξης υπερκαινοφανούς, η οποία εθεάθη μάλιστα από τους Κινέζους αστρονόμους το 1054 μ.Χ, ο Crab pulsar. Μετρήσεις της ενέργειας κατά τη διεύθυνση του νεφελώματος αυτού, υποδεικνύουν ότι η εκλυόμενη ενέργεια ( $\sim 10^{38}$  erg/sec) λόγω της επιβράδυνσης της περιστροφής του Crab, συμφωνεί σε τάξη μεγέθους με αυτή που προέρχεται από το νεφέλωμα σαν σύνολο, δικαιώνοντας έτσι την άποψη ότι η πηγή ενέργειας του νεφελώματος είναι ο Crab pulsar. Οι λόγοι για τους οποίους ένας περιστρεφόμενος αστέρας νετρονίων πρέπει να επιβραδύνεται δεν έχουν αποκρυσταλλωθεί ακόμα πλήρως. Ορισμένοι όμως επιστήμονες, όπως ο T.Gold, επιχειρηματολογώντας υπέδειξαν ότι η κινητική ενέργεια περιστροφής ενός pulsar θα πρέπει να μετασχηματίζεται σε άλλες μορφές, όπως π.χ κινητική ενέργεια ηλεκτρονίων. Επιπροσθέτως ένας πρόσφατα σχηματισμένος pulsar δύναται να εκπέμπει και βαρυτική ακτινοβολία λόγω του ισχυρού

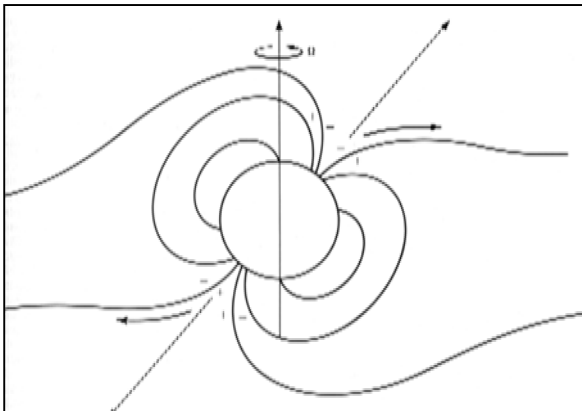


πεδίου βαρύτητας που τον περιβάλλει.

## ***Το είδος της ακτινοβολίας των pulsars***

Το εύρος του φάσματος συχνοτήτων μέσα στο οποίο εκπέμπουν οι pulsars είναι αρκετά μεγάλο, εκτεινόμενο από τις χαμηλές ραδιοφωνικές ( $\sim 10^7$  Hz) έως και τις σκληρές ακτίνες γάμμα ( $\sim 10^{24}$  Hz). Η μετάβαση όμως από τη ραδιοφωνική περιοχή προς τις υψηλές συχνότητες είναι ασυνεχής, πράγμα που μας υπαγορεύει ότι ο μηχανισμός εκπομπής της ακτινοβολίας θα πρέπει να είναι διάφορος σε αυτές τις δύο περιοχές. Απ' την άλλη, η περιοχή στην οποία λαμβάνουμε ραδιοκύματα είναι πολύ πιο στενή από την αντίστοιχη στο οπτικό και στις ακτίνες X, είναι όμως «πλουσιότερη» σε φωτόνια, καθ' όσον η ροή της ακτινοβολίας σε αυτήν την περιοχή είναι μεγαλύτερη. Λόγω του ότι για τις επίγειες παρατηρήσεις μας ενδιαφέρουν οι ραδιοφωνικές συχνότητες, θα αναφέρουμε μόνο το αντίστοιχο μοντέλο εκπομπής.

Σύμφωνα με τις τρέχουσες θεωρίες, η εκπομπή της ραδιοφωνικής ακτινοβολίας ενός pulsar οφείλεται στη σπειροειδή κίνηση των φορτίων, που αποσπά το μαγνητικό πεδίο



**Σχήμα 1.1** Η μορφή του μαγνητικού πεδίου ενός pulsar και η διεύθυνση της ακτινοβολίας σύγχροτρον, σύμφωνα με το μοντέλο της κωνικής εκπομπής.

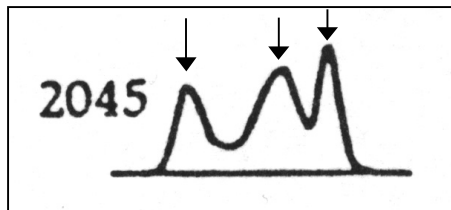
του αστέρα νετρονίων από την επιφάνειά του, κατα μήκος των δυναμικών γραμμών (ακτινοβολία σύγχροτρον). Με αυτόν τον τρόπο η ακτινοβολία παράγεται στους μαγνητικούς πόλους και εκπέμπεται κατα τη διεύθυνση του άξονα του πεδίου. Η δέσμη της ακτινοβολίας έχει τη μορφή ενός κωνικού φλοιού του οποίου η κορυφή καταλήγει στο μαγνητικό πόλο. Λόγω του γεωμετρικού τόπου μέσα στον οποίο περιορίζονται αυτές οι δέσμες, τους δόθηκε η ονομασία conal beams. Εκτός όμως από την κωνική δέσμη ακτινοβολίας, ένας pulsar μπορεί να εκπέμπει και στις ενδιάμεσες περιοχές του κώνου. Οι δέσμες που προέρχονται

από αυτές τις περιοχές καλούνται core beams.

Επειδή ο άξονας περιστροφής του pulsar δε συμπίπτει με το μαγνητικό άξονα, η δέσμη της ραδιοακτινοβολίας από τον αστέρα σαρώνει την ουράνια σφαίρα καθώς ο πρώτος περιστρέφεται. Έτσι λοιπόν, εάν τύχει και βρεθεί η γη στο δρόμο αυτής της δέσμης, θα παρατηρήσουμε με τα ραδιοτηλεσκόπια που διαθέτουμε ένα σύντομο παλμό του οποίου η διάρκεια εξαρτάται από την περίοδο του pulsar. Λόγω του γεγονότος ότι ο γεωμετρικός τόπος της δέσμης ενός pulsar είναι σύνθετος όπως είπαμε, αυτό που θα παρατηρήσουμε δε θα είναι ένας διάκριτος παλμός αλλά ένα σύνολο από υποπαλμούς (*sub-pulses*), οι οποίοι θα συνιστούν το σύνθετο παλμό. Σύμφωνα με το μοντέλο των Lyne και Manchester, οι υποπαλμοί που εμφανίζονται στην περιφέρεια του σύνθετου προφίλ οφείλονται στην κωνική ακτινοβολία, ενώ οι κεντρικοί υποπαλμοί προέρχονται από το λεγόμενο core emission, δηλαδή λόγω των core beams. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα παλαιότερο μοντέλο εκπομπής (Rankin J.M, 1992), θεωρεί πολλαπλούς κώνους

ακτινοβολίας με άξονα το μαγνητικό και τοποθετημένους ο ένας μέσα στον άλλον.

Ένα άλλο φαινόμενο, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διαφοροποίηση της μορφής και της έντασης των παλμών, είναι η μετάπτωση του άξονα περιστροφής. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν συνέπεια να βλέπουμε διαφορετικό μέρος του κώνου ακτινοβολίας κάθε φορά, μέχρι φυσικά να πληρώσει την περίοδο της μετάπτωσης ο αστέρας, οπότε και θα παρατηρήσουμε επανάληψη του αρχικού. Έχουν παρατηρηθεί περίοδοι μετάπτωσης μέχρι και 1000 ημερών. Άς σημειωθεί ότι το αντίστοιχο φαινόμενο για τη γη, διαρκεί 26000 χρόνια (!). Περισσότερα στοιχεία για τις περιόδους, καθώς και για τη μορφή με την οποία εμφανίζονται οι ληφθέντες ραδιοπαλμοί, θα αναφέρουμε παρακάτω.

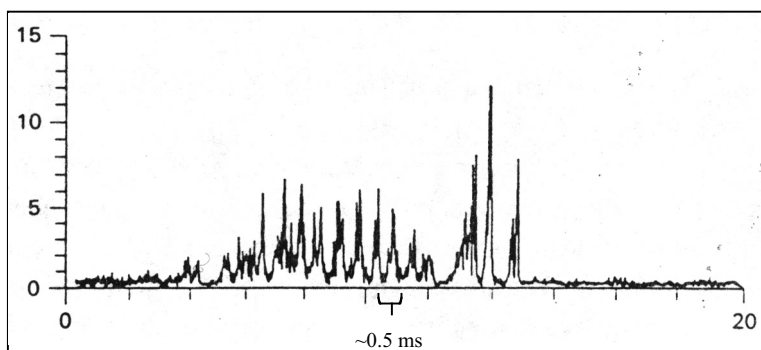


**Σχήμα 1.2** Παράδειγμα σύνθετου παλμού. Πρόκειται για τριπλό προφίλ, οφειλόμενο στη γεωμετρία του κώνου ακτινοβολίας.

## Οι παλμοί των pulsars

### ι) Χρονικές ιδιότητες

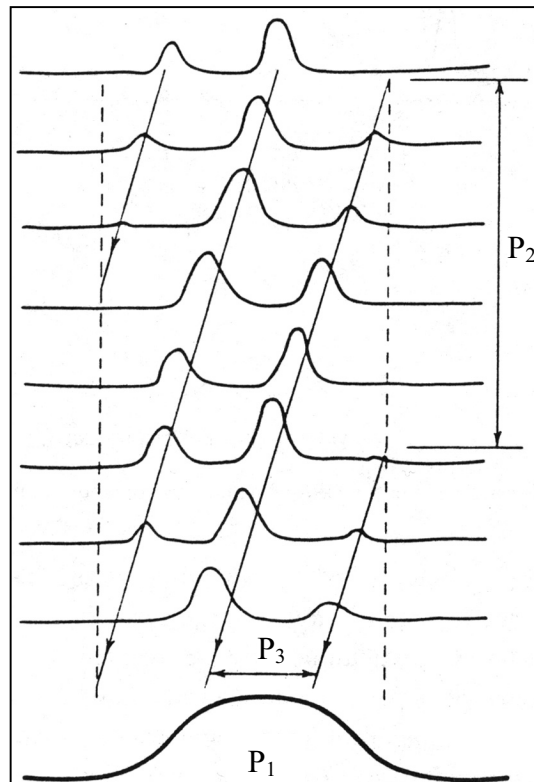
Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι οι παλμοί που παίρνουμε από έναν pulsar, αποτελούνται από άλλους μικρότερους. Έχει βρεθεί μάλιστα -με ανάλυση μεγάλης διακριτικής ικανότητας- ότι και αυτοί οι υποπαλμοί αποτελούνται από ακόμα μικρότερους, τους επ' ονομαζόμενους *μικροπαλμούς*. Βλέπουμε δηλαδή ότι τα δεδομένα που καταγράφουμε παρουσιάζουν μια *λεπτή δομή*, η οποία χάριν αναλογίας θα μπορούσε να παρομοιαστεί με τη λεπτή υφή του γραμμικού φάσματος των ατόμων. Επομένως γίνεται κατανοητό ότι δεν πρόκειται για ένα απλό φαινόμενο, αλλά για μια περίπλοκη διαδικασία εκπομπής της ακτινοβολίας, η οποία μόνο σαν αποτέλεσμα εμφανίζεται με τη μορφή κανονικών παλμών σταθερής περιόδου (τουλάχιστον για ικανά χρονικά διαστήματα).



**Σχήμα 1.3** Η λεπτή δομή ενός παλμού του pulsar PSR 0950+08.

Οι κύριες περιοδικότητες που εμφανίζονται σε μία παρατήρηση ενός pulsar, είναι τρείς. Το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών τμήσεων του κώνου ακτινοβολίας με

την ευθεία παρατήρησης<sup>\*</sup>, συμπίπτει με την περίοδο αξονικής περιστροφής του pulsar και, χάριν γνωστής σημειογραφίας, ας την ονομάσουμε  $P_1$ . Οι τιμές της  $P_1$  κυμαίνονται από μερικά msec (ο PSR 1937+214 έχει  $P_1 \approx 1.5$  msec) έως τις συνήθεις τιμές της τάξεως του sec (PSR 0529-66 με  $P_1 \approx 0.95$  sec). Επειδή, όπως είπαμε, η θέση ενός παλμού δεν είναι απολύτως καθορισμένη, λόγω του ότι συνίσταται από διάφορους υποπαλμούς, είναι συνήθως βολικότερο να χρησιμοποιούμε έναν ολοκληρωμένο παλμό (*integrated pulse*) για τον καθορισμό της  $P_1$ . Ο ολοκληρωμένος παλμός είναι η συνισταμένη πολλών διαδοχικών σύνθετων, αλλά διακριτών παλμών (single pulses), είναι δε η υπέρθεση της χρονικής ακολουθίας αυτών. Είναι πράγματι όμορφο το θέαμα ενός ολοκληρωμένου παλμού! Το *προφίλ* αυτού προσεγγίζει καλύτερα το μοντέλο του ιδεατού ραδιοφάρου που έχουμε υπ' όψη. Δυστυχώς όμως, όπως συμβαίνει γενικότερα με τα φυσικά μοντέλα που επινοούμε, η ομορφιά αυτή δεν είναι χωρίς τίμημα. Έτσι, με την υπέρθεση πολλών σύνθετων παλμών, χάνουμε αρκετές πληροφορίες για τη φύση του pulsar, καθώς και για τους μηχανισμούς εκπομπής (μορφή κώνου ακτινοβολίας, περίοδος υποπαλμών κ.α).



**Σχήμα 1.4** Οι τρεις περιοδικότητες του σήματος που λαμβάνουμε από έναν pulsar. Ο ολοκληρωμένος παλμός λαμβάνεται μέσα σε ένα χρονικό παράθυρο, πλάτους μίας περιόδου του pulsar.

<sup>\*</sup> Το να λάβουμε παλμό και από τους δύο μαγνητικούς πόλους είναι πράγμα μάλλον σπάνιο αφού προϋποθέτει ο άξονας περιστροφής να είναι σχεδόν κάθετος προς αυτόν του μαγνητικού πεδίου (aligned rotator).

Στις παρατηρήσεις που διεξάγονται με τα ραδιοτηλεσκόπια, οι παλμοί που ανιχνεύονται συγχρονίζονται με το τοπικό ρολόι, ώστε να έχουμε ένα απόλυτο σύστημα μέτρησης του χρόνου με το οποίο θα εξάγουμε συμπεράσματα για την σταθερότητα της περιόδου του pulsar, τις απότομες μεταβολές σ' αυτήν (glitches), τη διάρκεια της εκμηδένισης των παλμών (nulling), καθώς και άλλα χρονικά φαινόμενα που σχετίζονται με την περίοδο του αστέρα. Συνήθως το χρονικό παράθυρο, μέσα στο οποίο εμφανίζεται ο παλμός (αρχικά συγχρονος), είναι ίσο με  $1/30$  της  $P_1$ . Με τη πάροδο του χρόνου όμως παρατηρείται μετατόπιση του «πακέτου» των υποπαλμών μέσα σ' αυτό το παράθυρο, δίνοντας έτσι ώθηση για τον ορισμό μιας νέας περιόδου της  $P_2$ , η οποία ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που εκκρέει από την εμφάνιση ενός αρχικού σύνθετου παλμού, μέχρι να επαναληφθεί ακριβώς ο ίδιος στο ίδιο σημείο του παραθύρου. Η περίοδος  $P_2$  είναι πολύ μεγαλύτερη από την  $P_1$ . Τέλος, είναι δυνατόν να προσάψουμε στο προφίλ του παλμού ενός pulsar και μια τρίτη περίοδο που δηλώνει τη χρονική απόσταση μεταξύ των υποπαλμών μέσα σ' ένα σύνθετο παλμό. Γίνεται φανερό ότι η τελευταία αυτή περίοδος  $P_3$  είναι άμεσα συνδεδεμένη με την κατανομή της ενέργειας του κώνου ακτινοβολίας που, όπως είπαμε δεν είναι συμπαγής. Φυσικά ισχύει ότι  $P_2 > P_1 > P_3$ .

Εκτός από τις προβλεπόμενες περιοδικότητες ενός pulsar συμβαίνει κατά καιρούς να εμφανίζονται μέσα στο χρονικό παράθυρο σήματα διαφορετικής μορφής από το σύνηθες, ενώ έχουν αντιμετωπιστεί περιπτώσεις, όπου λήφθηκε σήμα και εκτός παραθύρου σε απόσταση μισής περιόδου από αυτό. Το φαινόμενο ονομάζεται *mode changing* και δεν είναι ασύνηθες, αλλά ενδογενής ιδιότητα ορισμένων pulsars. Όταν δε στο κυρίως παράθυρο -όπου μέχρι εκείνη τη στιγμή εμφανιζόταν ένας ισχυρός παλμός- εμφανιστεί ένας ασθενής λόγω *mode changing* παλμός, λέμε ότι ο pulsar εκπέμπει σε Quiet Mode (Q-mode). Σε μια τέτοια περίπτωση η εκπομπή των ισχυρών παλμών ονομάζεται Burst Mode (B-mode), αλλά δεν είναι πάντα αυτό το συνηθισμένο mode στο οποίο έχουμε εκπομπή. Υπάρχουν εξίσου και περιπτώσεις, όπου αυτό το διπλό προφίλ μέσα σε μια περίοδο είναι το επικρατέστερο. Αναλόγως ποιό από τα δύο modes είναι συχνότερο, το ονομάζουμε Normal Mode, ενώ το πιο σπάνιο Abnormal Mode.

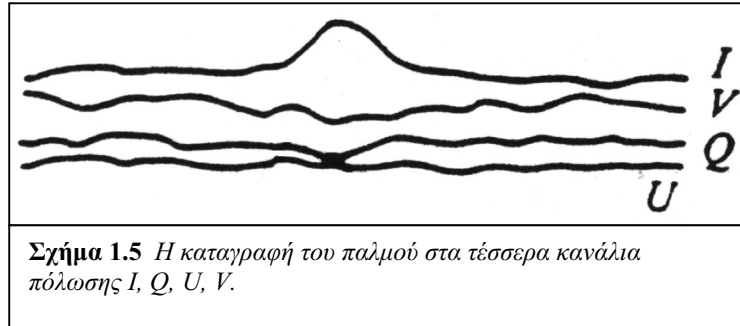
## ii) Πολωσιμετρικές ιδιότητες και ανώμαλα φαινόμενα

Οι παλμοί που παίρνουμε από τους pulsars εμφανίζουν εκτός των άλλων και πόλωση. Συνήθως εμφανίζονται ελλειπτικά πολωμένοι, αλλά δεν αποκλείεται σε ορισμένες περιπτώσεις να ληφθούν κυκλικά ή και γραμμικά πολωμένοι παλμοί. Η υπέρθεση πολλών παλμών για την παραγωγή του προφίλ ενός ολοκληρωμένου παλμού, έχει ως αποτέλεσμα την εξασθένηση της πόλωσης, λόγω της διασποράς που παρουσιάζει το είδος της πόλωσης από παλμό σε παλμό. Η πλήρης μαθηματική περιγραφή της πόλωσης των ηλεκτρομαγνητικών παλμών που λαμβάνουμε δίνεται με τη βοήθεια τεσσάρων παραμέτρων, των *παράμετρων Stokes*. Με τη βοήθεια δύο καθέτων δεκτών, τα ραδιοτηλεσκόπια είναι σχεδιασμένα να μετρούν απ' ευθείας τις τιμές των  $I$ ,  $Q$ ,  $U$ ,  $V^*$  εφ'

---

\* Οι παράμετροι συνδέονται με το ηλεκτρικό πεδίο μέσω των σχέσεων

όσον μπορούν και «αισθάνονται» τα πλάτη του ηλεκτρικού πεδίου, καθώς αυτά μεταβάλλονται με το χρόνο. Έτσι, η καταγραφή των δεδομένων διαιρείται σε τέσσερα κανάλια πόλωσης με στόχο την απεικόνιση του αντίστοιχου προφίλ των ολοκληρωμένων παλμών. Θα πρέπει τέλος να αναφέρουμε ότι από τη μελέτη των παραμέτρων Stokes ενός pulsar εκπηγάζουν πολλές πληροφορίες για τη μορφή αυτού του μαγνητικού πεδίου.



Εκτός από πολωσιμετρικές ιδιότητες, οι παλμοί των pulsars εμφανίζουν και κάποια ιδιαίζουσα συμπεριφορά κατά διαστήματα. Μία από τις χαρακτηριστικές ιδιότητές τους είναι οι απότομες μεταβολές (glitches) της περιόδου αξονικής περιστροφής τους. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για μη προβλεπόμενη αύξηση του ρυθμού περιστροφής του αστέρα μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα σε σχέση με τη ζωή του. Έτσι, για παράδειγμα, ο pulsar Vela (PSR 0833-45) κατά τη διάρκεια ενός glitch το 1969, ελάττωσε την περίοδο περιστροφής του κατά 200 nsec μέσα σε διάστημα 10 ημερών. Στις περισσότερες των περιπτώσεων μετά από ένα glitch, ο pulsar αποκαθιστά τον αρχικό ρυθμό επιβράδυνσης. Υπάρχουν όμως και εξαιρέσεις σύμφωνα με τις οποίες η παρατήρηση έδειξε αύξηση του ρυθμού επιβράδυνσης ( $\Delta P/\Delta t$ ) μετά το glitch.

Γενικά σήμερα, δεχόμαστε κυρίως δύο μοντέλα για την εξήγηση των glitches ενός pulsar. Ανεξαρτήτως όμως μοντέλου, είναι παραδεκτό ότι η προετοιμασία ενός glitch από τον αστέρα διαρκεί μεγάλο χρονικό διάστημα συγκριτικά με το πόσο διαρκεί αυτό. Σύμφωνα με το πρώτο μοντέλο, η περιστροφή του αστέρα νετρονίων είναι τέτοια που επιτρέπει στις φυγοκεντρικές δυνάμεις να παραμορφώσουν τον εξωτερικό φλοιό με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ελαστικές τάσεις επαναφοράς, οι οποίες συσσωρεύονται με το χρόνο. Καθώς οι δυνάμεις αυτές δεν είναι δυνατόν να διαμελίσουν τον αστέρα, εξισορροπούνται σε κάποιο μέγιστο. Αυτό που επακολουθεί είναι η εκτόνωση του αστέρα με τη μορφή ενός μικροσεισμού, αποτέλεσμα του οποίου είναι η βραχυπρόθεσμη αύξηση του ρυθμού περιστροφής του pulsar. Όμως αυτές οι απότομες μεταβολές στην περίοδο ενός pulsar μπορούν να εξηγηθούν και με τη βαρυτική συστολή του αστέρα

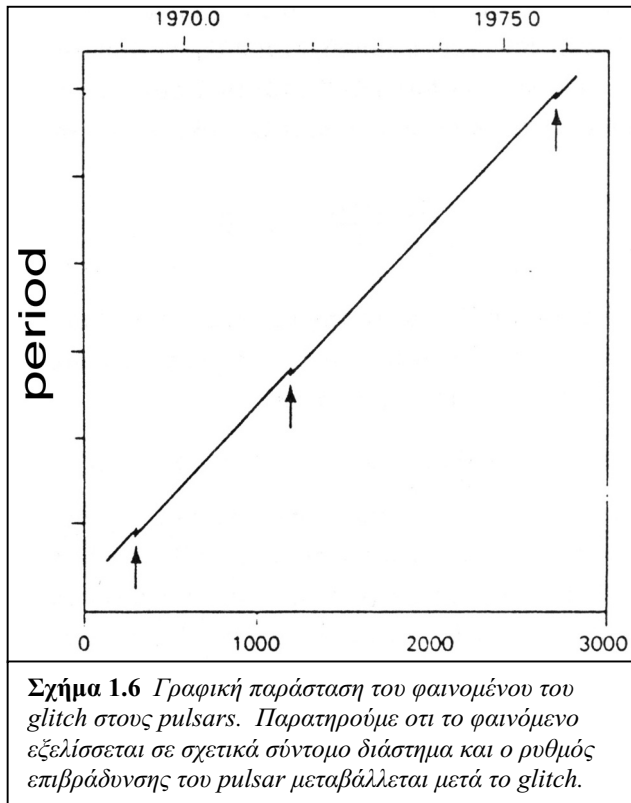
$$I = \langle E_{ox}^2 \rangle + \langle E_{oy}^2 \rangle$$

$$Q = \langle E_{ox}^2 \rangle - \langle E_{oy}^2 \rangle$$

$$U = 2\langle E_{ox} E_{oy} \cos[\delta_x - \delta_y] \rangle$$

$$V = 2\langle E_{ox} E_{oy} \sin[\delta_x - \delta_y] \rangle$$

αν το επίπεδο πόλωσης είναι το xy-επίπεδο.



νετρονίων, όπως υποδεικνύεται από τη Γ.Θ.Σ. Ειδικότερα για τους pulsars μικρής ηλικίας, προβλέπεται μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης των glitches. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συμφωνούν ικανοποιητικά με τα θεωρητικώς υπολογιζόμενα.

Ένα ακόμη ιδιαίτερο παρατηρησιακό φαινόμενο που πρέπει να αναφέρουμε, είναι η κατά περιόδους εκμηδένιση των παλμών των pulsars. Υπάρχουν δηλαδή ορισμένες περιπτώσεις στις οποίες δεν παρατηρείται (ή εάν παρατηρείται η έντασή του είναι πολλές φορές ασθενέστερη) παλμός για διάστημα πολλών περιόδων. Όταν οι παλμοί επανεμφανιστούν, οι μεταβαλλόμενες παράμετροι που τους χαρακτηρίζουν, συνεχίζονται από τις τιμές που είχαν πριν την εκμηδένιση(!).

## Επίδραση του μεσοαστρικού χώρου

Η ακτινοβολία από τους pulsars διανύει μεγάλη απόσταση μέχρι να φτάσει σ' εμάς. Ο μεσοαστρικός χώρος όμως από τον οποίο διέρχεται δεν είναι κενός, αλλά μπορεί να περιέχει διάφορα είδη ύλης, όπως μεσοαστρική σκόνη, υδρογονικά νέφη, ακόμη και οργανικά μακρομόρια έχουν παρατηρηθεί. Η επίπτωση όλων αυτών κυμαίνεται από την απλή εξασθένηση του παλμού, έως την πλήρη αναίρεσή του. Απο τη σωρεία των φαινομένων αλληλεπίδρασης φωτός-ύλης, εδώ θα αναφέρουμε επιγραμματικά αυτά που γίνονται περισσότερο αισθητά στις προκειμένες συχνότητες και γενικότερα στις παρατηρήσεις των pulsars:

### i) Διασπορά ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Όπως είπαμε στα προηγούμενα, οι κυματοσυρμοί που εκπέμπονται από τα pulsars συνίστανται από διαφόρων συχνοτήτων κύματα. Όταν ένας τέτοιος κυματοσυρμός διέλθει από τη μεσοαστρική ύλη, η διάδοση των διαφόρων μονοχρωματικών κυμάτων θα γίνει με διαφορετικές ταχύτητες, οι οποίες εξαρτώνται από το μήκος κύματος  $\lambda$  του εκάστοτε κύματος\*. Αποδεικνύεται ότι τα υψίσυχα κύματα ταξιδεύουν γρηγορότερα

\* Η διάδοση ενός κύματος σε μέσο δείκτη διάθλασης  $n$  γίνεται με ταχύτητα η οποία εξαρτάται από το  $\lambda$  μέσω της σχέσης  $v=c/n(\lambda)$ .

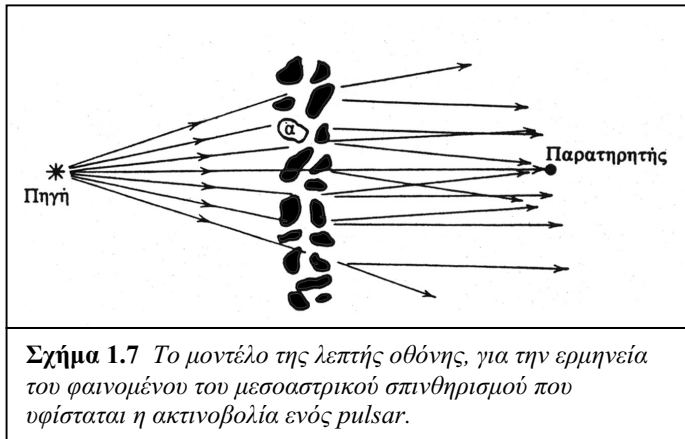
μέσα στο μέσο διάδοσης από ότι τα χαμηλότερης συχνότητας. Συνέπεια αυτού είναι οι παλμοί να φθάνουν σ' εμάς σε διαφορετικούς χρόνους αλλοιώνοντας τη δομή τους. Το φαινόμενο αυτό καλείται *διασπορά* και μέτρο της είναι το *μέτρο διασποράς DM*.

## ii) Στροφή Faraday

Αναφέρθηκε ότι η ακτινοβολία που προέρχεται από τα pulsars συχνά εμφανίζεται να είναι γραμμικά πολωμένη επάνω σ' ένα επίπεδο πόλωσης. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι η μεσοαστρική ύλη είναι μαγνητισμένη, έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται το επίπεδο πόλωσης της ραδιοφωνικής ακτινοβολίας, καθώς διαδίδεται αυτή στο μεσοαστρικό χώρο. Το μέτρο της επίδρασης του φαινομένου αυτού στην αρχικώς εκπεμπόμενη ακτινοβολία, καθορίζεται από το *μέτρο στροφής RM*. Λόγω του ότι το μέτρο στροφής και το μέτρο διασποράς οφείλονται σε έναν κοινό παράγοντα που είναι η πυκνότητα των φορτίων του μέσου διάδοσης, αυτά συσχετίζονται με την αναλογία  $(RM)/(DM) \sim \langle |B| \rangle$ , όπου το  $B$  είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου στο χώρο του μέσου.

## iii) Μεσοαστρικός σπινθηρισμός

Το φαινόμενο του σπινθηρισμού είναι εποπτικότερα παρατηρήσιμο στις οπτικές συχνότητες, όπου βλέπουμε το φώς των άστρων να τρεμοπαίζει\*. Στην περίπτωση του



ορατού φωτός ο σπινθηρισμός οφείλεται σε μεταβολές της ατμοσφαιρικής πυκνότητας: ενώ αντιθέτως τα ραδιοκύματα από τους pulsars υφίστανται μεσοαστρικό σπινθηρισμό, λόγω δηλαδή της μεσοαστρικής ύλης που παρεμβάλεται στον οπτικό δρόμο μεταξύ πηγής και γης. Αυτό που παρατηρούμε εμείς είναι οι δέσμες φωτός να μὴν καταφθάνουν πάντα, σε συμφωνία αλλά με διαφορά

φάσης η μία ως προς την άλλη. Στις οπτικές συχνότητες είναι δυνατόν λόγω του μικρού μήκους κύματος της ακτινοβολίας, δύο δέσμες να αλληλοαναιρεθούν (διαφορά φάσης  $\pi$ ) κι έτσι να προκληθεί στιγμιαία ελάττωση της έντασης του φωτός. Στα ραδιοκύματα όμως αυτό είναι πιο σπάνιο και μάλιστα η συχνότητα των αναλαμπών λόγω σπινθηρισμού είναι πολύ μικρότερη απ' ό,τι στο οπτικό.

\* Το φαινόμενο δεν παρατηρείται στους πλανήτες λόγω του ότι αυτοί δεν εμφανίζονται με σημειακό μέγεθος όπως οι μακρυνοί αστέρες οι οποίοι είναι σημειακές πηγές για εμάς. Εκπέμποντας φώς από όλα τα σημεία της επιφάνειάς τους οι πλανήτες, μας στέλνουν συνεχώς φώς διαφορετικών οπτικών δρόμων κι έτσι δε γίνεται αντιληπτός ο σπινθηρισμός.

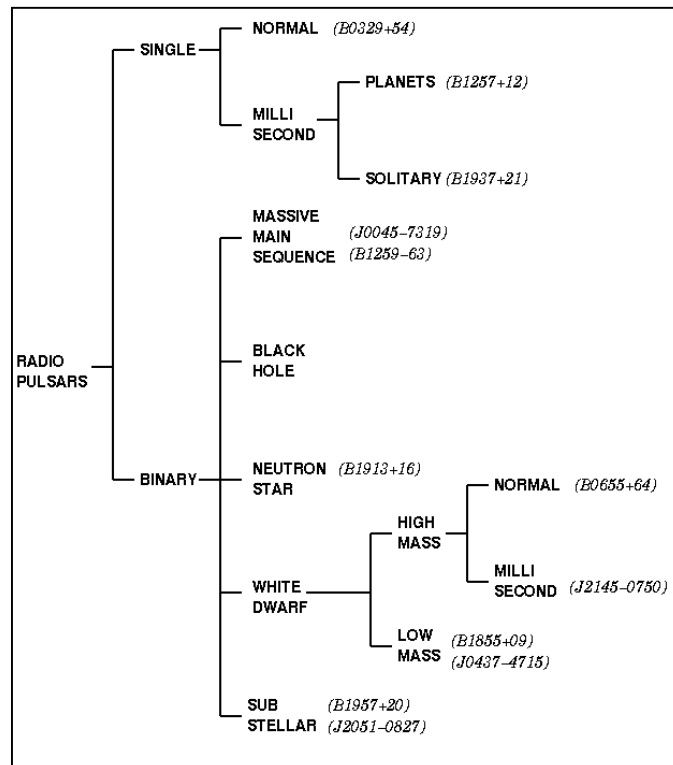
#### iv) Πλάτυνση της διάρκειας των παλμών

Οι σκεδαζόμενες δέσμες από το μεσοαστρικό χώρο παρουσιάζουν μια χρονική καθυστέρηση σε σχέση με αυτές που συνεχίζουν την ευθύγραμμη πορεία τους. Στα προφίλ που λαμβάνουμε αυτό εμφανίζεται ως πλάτυνση των παλμών, αφού η απόσβεση του παλμού δε θα είναι απότομη, αλλά θα παρουσιάζει εκθετική συμπεριφορά λόγω της συμβολής στη συνολική εικόνα και των δευτερευουσών σκεδαζόμενων δεσμών. Το φαινόμενο της πλάτυνσης γίνεται περισσότερο αισθητό στις χαμηλές συχνότητες.

Θα πρέπει να τονίσουμε σ' αυτό το σημείο ότι, ενώ όλες οι παραπάνω επιδράσεις της μεσοαστρικής ύλης παραμορφώνουν την πραγματική εικόνα του παλμού, οι ραδιοαστρονόμοι αντίστροφα χρησιμοποιούν -γνωρίζοντας και τους νόμους που τα διέπουν- τα φαινόμενα αυτά για τη μελέτη της δομής και γενικότερα των ιδιοτήτων (μαγνητικό πεδίο, πυκνότητα ηλεκτρονίων κλπ.) του μεσοαστρικού χώρου.

### Τύποι Pulsars

Η μελέτη των pulsars, όπως είπαμε, έδειξε ότι αυτοί είναι ταχέως περιστρεφόμενοι αστέρες νετρονίων και ότι η πηγή ενέργειάς τους οφείλεται κυρίως στο ισχυρό τους μαγνητικό πεδίο. Είναι όμως όλοι οι pulsars που ανιχνεύουμε στο διάστημα ίδιοι; Η έρευνα έδειξε ότι υπάρχει διαφοροποίηση της τελικής κατάστασής τους, η οποία οφείλεται σε διαφορετική εξελικτική πορεία και αρχικές συνθήκες. Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει την κατηγοριοποίηση των ραδιοφωνικών pulsars σε *single* και *binary*, καθώς και ορισμένες υποκατηγορίες κυρίως λόγω των διαφορών συνοδών των binary pulsars.



**Σχήμα 1.8** Διάγραμμα κατηγοριοποίησης των τύπων των pulsars ανάλογα με το συνοδό του αστέρα νετρονίων και την περίοδο περιστροφής. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός



## Αστρονομικά formats δεδομένων

### *Τα data formats και η χρήση τους*

Οι πληροφορίες που συλλέγουν οι αστρονόμοι από τον ουρανό είναι ανεκτίμητες και σε πολλές περιπτώσεις καταγράφονται φαινόμενα, τα οποία ίσως να μη ξαναεμφανιστούν ή φαινόμενα τα οποία έχουν περίοδο εκατοντάδων ετών. Χρειάζεται λοιπόν τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις είτε πρόκειται για οπτικές φωτογραφίες είτε π.χ. για πληροφορίες της έντασης των παλμών ενός pulsar, να αποθηκευθούν για μελλοντική ανάλυση και αναφορά σε αυτά από επιστήμονες, οι οποίοι δε θα έχουν την τύχη να μελετήσουν απ' ευθείας τα φαινόμενα. Παλαιότερα, όταν δεν υπήρχαν οι υπολογιστές, τα παρατηρησιακά δεδομένα καταγράφονταν στο χαρτί και η πρόσβαση σε αυτά από άλλους μελετητές ήταν πολύ δύσκολη και σε πολλές των περιπτώσεων χρειαζόταν αυτοί να ταξιδέψουν σε μεγάλες αποστάσεις\*. Σήμερα όμως με την ευκολία που παρέχουν οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τη διάδοση που έχει ο παγκόσμιος ιστός (World Wide Web), οι πληροφορίες είναι προσβάσιμες από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου και η αρχειοθέτησή τους γίνεται με σχετική ευκολία. Τούτο όμως σημαίνει ότι τα δεδομένα μας δεν βρίσκονται πια στην χειρόγραφη μορφή, όπως συνέβαινε παλαιότερα, αλλά είναι *φορμαρισμένα* στις απαιτήσεις των υπολογιστών. Ένας ερευνητής δεν μπορεί να βγάλει συμπεράσματα βλέποντας αυτήν τη μορφή των δεδομένων, αλλά θα πρέπει να τα μεταφράσει πρώτα με τη βοήθεια κατάλληλων εργαλείων. Η μορφοποιημένη διάταξη των δεδομένων (data) που χρησιμοποιεί ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, για να διαβάσει, να αναλύσει και να απεικονίσει τις πληροφορίες που εμπεριέχονται σ' αυτά, καλείται *data format*. Υποτίθεται ότι αυτή η μορφοποιημένη διάταξη δεν μεταβάλλεται από αρχείο σε αρχείο έτσι, ώστε να μπορεί ένας υπολογιστής να διαβάσει όλα τα αρχεία ίδιου format χρησιμοποιώντας τα ίδια μεταφραστικά εργαλεία.

Το ιδανικό θα ήταν να υπήρχε ένα κοινό format για την αρχειοθέτηση των παρατηρήσεών μας, με τον ίδιο τρόπο που θα ήταν ιδανικό να μιλάνε όλοι οι άνθρωποι την ίδια γλώσσα επάνω στη γη. Κάθε λαός όμως έχει το δικό του κώδικα επικοινωνίας, όπως και κάθε επιστημονική κοινότητα χρησιμοποιεί τον δικό της τρόπο, για να αρχειοθετήσει και να αναλύσει τις πληροφορίες που αντλούνται από την παρατήρηση. Το γεγονός αυτό εισάγει κάποιες δυσκολίες στην προώθηση της επιστήμης, δυσκολίες οι οποίες αναλύονται στην επόμενη παράγραφο εστιάζοντας το θέμα στην αστρονομική κοινότητα.

---

\* Είναι γνωστή η ιστορία του Γ.Κέπλερ, ο οποίος έπρεπε να ταξιδέψει μέχρι τον Τ.Μπράχε για να συγκρίνει τα πειραματικά δεδομένα με τη θεωρία του.

## *Η ανάγκη για ένα κοινό data format*

### **i) Γιατί χρειαζόμαστε ένα κοινό format για την ανάλυση των δεδομένων μας;**

Τα διάφορα αστρονομικά παρατηρητήρια ανα τον κόσμο χρησιμοποιούν, όπως είναι φυσικό, το δικό τους μοναδικό σε ορισμένες περιπτώσεις hardware και αντίστοιχο software για την καταγραφή και ανάλυση των δεδομένων που λαμβάνουν από τον ουράνιο θόλο. Επόμενο είναι, ύστερα από αυτό το γεγονός, η αρχειοθέτηση των δεδομένων να γίνεται με βάση το συμβατό με το hardware, data format. Συνέπεια όλων αυτών είναι η ύπαρξη αυτήν τη στιγμή αρκετών δεδομένων, πράγμα το οποίο δυσχεραίνει την επικοινωνία σε ευρεία κλίμακα, των επιστημόνων. Ένας ερευνητής, για παράδειγμα, ο οποίος θα ήθελε να πληροφορηθεί για τις παρατηρήσεις ενός αστέρα που διεξήχθησαν από άλλο παρατηρητήριο, θα πρέπει να κατασκευάσει ειδικά προγράμματα-μετατροπείς, για να μπορέσει να διαβάσει τις πληροφορίες που εμπεριέχουν τα αρχεία αυτά. Απο εκεί και πέρα υπάρχει η δυνατότητα να αναλύσει τα δεδομένα με το δικό του software ή να αναζητήσει τα αντίστοιχα συμβατά εργαλεία ανάλυσης που θα του επιτρέψουν να διαβάσει τα δεδομένα με την αρχική τους μορφή. Βέβαια αυτό το δεύτερο σημαίνει ότι θα πρέπει να αρκестεί στις πληροφορίες που μπορούν να του παράσχουν τα προγράμματα των άλλων ερευνητών, με αποτέλεσμα να μην έχει τη δυνατότητα να επεκτείνει την έρευνά του περαιτέρω (υποτίθεται ότι η ανάλυση με το συμβατό software έχει γίνει). Βλέπουμε δηλαδή ότι και στις δύο περιπτώσεις θα πρέπει να αναλωθεί πολύτιμος χρόνος, πράγμα το οποίο θα μπορούσε να αποφευχθεί με τη χρήση ενός κοινού format. Θα επικεντρώνονταν τότε η επιστημονική προσπάθεια στην παραγωγή καινούργιων αλγορίθμων ανάλυσης, οι οποίοι θα προσέφεραν νέες μεθόδους επεξεργασίας των δεδομένων, με συνέπεια την εξαγωγή περισσότερων πληροφοριών για τα παρατηρούμενα αστρικά αντικείμενα. Τα νέα αυτά εργαλεία θα ήταν εύκολο να υιοθετηθούν και από άλλους επιστήμονες μιας και το software θα ήταν συμβατό.

Επιπροσθέτως, η εισαγωγή ενός κοινού format στην παγκόσμια αστρονομική κοινότητα θα καθιστούσε την άμεση σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των ερευνητικών ομάδων μια εύκολη διαδικασία, αφού δε θα χρειαζόταν να γίνει και πάλι μετατροπή από το ένα format στο άλλο. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα το κοινό σύνολο των παραμέτρων μεταξύ των διαφόρων format είναι μικρό, με αποτέλεσμα ακόμη και η μετατροπή να προκαλέσει απώλεια πληροφορίας και, ως εκ τούτου, να καθιστά τη σύγκριση περισσότερο δυσχερή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι πληροφορίες που αποθηκεύονται στα headers\* των δύο από τα πιο διαδεδομένα formats που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των παλμών των pulsars του EPN και του EPOS. Το μεν EPN περιέχει περισσότερες πληροφορίες για τις φυσικές ιδιότητες του pulsar ενώ το EPOS έχει αρκετές τεχνικές παραμέτρους στο header του (όπως π.χ κατάσταση τηλεσκοπίου, συχνότητα δειγματοληψίας κλπ.). Η μετατροπή από το ένα στο άλλο θα λάβει υπ' όψη μόνο τις εμπλεκόμενες κοινές παραμέτρους.

Ένα άλλο εγχείρημα το οποίο θα ευνοούσε η εγκαθίδρυση ενός κοινού format, είναι η δημιουργία μιας παγκόσμιας βάσης αστρονομικών δεδομένων (database). Τα

---

\* Όπως θα δούμε τα headers περιέχουν πληροφορίες για την πηγή και για ορισμένες παραμέτρους παρατήρησης, όπως π.χ συχνότητα και διάρκεια παρατήρησης.

αποτελέσματα των παρατηρήσεων από όλες τις αστρονομικές εγκαταστάσεις του κόσμου θα μοιράζονταν σε αυτήν τη βάση και η εύρεση συγκεκριμένων εργασιών επάνω σε κάποια ραδιοπηγή, για παράδειγμα, θα ήταν υπόθεση ρουτίνας. Η δημιουργία μιας τέτοιας *υπέρτατης* βιβλιοθήκης δεδομένων είναι φανερό ότι δεν είναι το ίδιο εύκολη. Υπάρχουν όμως αυτήν τη στιγμή ήδη πολλές μικρότερου μεγέθους databases με παρατηρησιακά δεδομένα, οι οποίες είναι φυσικά προσαρμοσμένες στα μέτρα του κάθε ερευνητικού κέντρου. Εάν κι εφ' όσον αποφασισθεί η χρησιμοποίηση ενός κοινού format, η μαζική μετατροπή όλων αυτών των δεδομένων στο αυτό format θα είναι εφικτή -ιδιαιτέρως σήμερα όπου η εξέλιξη των Η/Υ το επιτρέπει. Βέβαια η πλήρης μετάβαση από την περίοδο των διαφόρων formats σε αυτήν του κοινού για όλους, προϋποθέτει και ορισμένες αλλαγές στο hardware των αστεροσκοπειών, οι οποίες σε αρκετές των περιπτώσεων είναι πολυδάπανες. Το αποτέλεσμα όμως θα ανταμείψει πλουσιοπάροχα και ας μη ξεχνάμε ότι παρόμοιες προσπάθειες του παρελθόντος έχουν στεφθεί με επιτυχία: όπως για παράδειγμα η χρήση του πρωτόκολλου .X25 για την επικοινωνία των modems.

Η δημιουργία και αποδοχή ενός κοινού format θέτει σε λειτουργία ένα παγκόσμιο δίκτυο πληροφορίας, που όλοι θα μπορούν να χρησιμοποιήσουν. Μπορεί να παρομοιαστεί με τη σύνδεση ενός μεγάλου αριθμού ραδιοτηλεσκοπίων για τη δημιουργία ενός πολύ πιο ισχυρού (Very Large Base Interferometer), μόνο που στη θέση των τηλεσκοπίων θα είναι οι επιστήμονες. Έτσι, όλες οι επιστημονικές κοινότητες θα μπορούν να δρουν σαν σύνολο, παράγοντας πιο εύκολα έργο με τη χρήση μιας κοινής γλώσσας.

## **ii) Ποιές προϋποθέσεις θα πρέπει να πληροί ένα τέτοιο format;**

Τα υποψήφια formats για να αποτελέσουν πρότυπο στην έρευνα που διεξάγει η αστρονομία, θα πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις. Με βάση αυτές τις προϋποθέσεις θα πρέπει να δομηθούν έτσι, ώστε να είναι:

- **Ανεξάρτητα πλατφόρμας (Platform independent)**

Η διαφοροποίηση της αρχιτεκτονικής των υπολογιστών από πλατφόρμα σε πλατφόρμα (IBM Compatibles, Mac, UNIX κ.α), καθώς και η ασυμβατότητα μεταξύ των διαφόρων λειτουργικών συστημάτων (Windows, MacOS, X-Windows) που χρησιμοποιούν αυτές, καθιστά αναγκαία την κατασκευή ενός format που να είναι ανεξάρτητο τόσο σε σχέση με το hardware (π.χ FIFO, LIFO ασυμβατότητες), όσο και με το software (π.χ ασυμβατότητες στους τύπους δεδομένων). Ειδικά με την άνθηση των λειτουργικών συστημάτων που παρουσιάζεται σήμερα, θα πρέπει το format αυτό να καλύπτεται και από τα μελλοντικά σχέδια των προγραμματιστών. Με αυτόν τον τρόπο θα έχουμε να κάνουμε με ένα ευέλικτο format δεδομένων, ικανό να εκπροσωπήσει ένα σημαντικό έργο, όπως μια παγκόσμια βάση αστρονομικών δεδομένων, που αναφέρθηκε νωρίτερα. Ένα από τα υποψήφια formats για τη μελέτη των pulsars, είναι αυτό της ευρωπαϊκής επιστημονικής κοινότητας (European Pulsar Network). Η ανάγκη για πλήρη συμβατότητα ώθησε τους δημιουργούς του να χρησιμοποιήσουν χαρακτήρες ASCII σε

όλο το μήκος των αρχείων\*.

- Πλήρη και περιεκτικά σε πληροφορία (Completeness)

Ένα κοινώς αποδεκτό format θα πρέπει να περιλαμβάνει στις παραμέτρους του όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για την πηγή που παρατηρούμε, αλλά και για τις συνθήκες παρατήρησης. Οι πληροφορίες που θα περιέχει το format θα πρέπει να δίνουν τη δυνατότητα σε μελλοντικούς ερευνητές να διευρύνουν την ανάλυσή τους και σε άλλα πεδία έρευνας. Αυτό σημαίνει ότι είναι αναγκαίο να υπάρχουν όλες οι παράμετροι, οι οποίες έχουν διαχρονική ισχύ ή αν δεν έχουν, να μπορεί ο χρήστης να αναπαράγει τις τωρινές τους τιμές από τις αποθηκευμένες. Έτσι, τα αρχεία του format αυτού θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναφορά για μελλοντικές εργασίες.

Όπως είπαμε, ένα από τα θετικά της προτυποποίησης ενός κοινού data format, είναι η επικέντρωση των προσπαθειών στην παραγωγή καινούριων αλγορίθμων (που θα υποστηρίζουν το format), χρησιμοποιήσιμων από όλους. Συνεπώς είναι ανάγκη ένα τέτοιο format να είναι ανοιχτό σε τέτοιου είδους εξελίξεις του software.

- Συμπαγή στο μέγεθος (Compactness)

Το κομμάτι όπου θα περιέχονται οι περιγραφικές πληροφορίες δε θα πρέπει να είναι «φλύαρο», που σημαίνει ότι η επιλογή των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την πηγή της παρατήρησης, θα προσεχτεί ώστε να είναι αντιπροσωπευτική και χωρίς να επαναλαμβάνονται πληροφορίες. Αυτό θα συμβάλλει στην ελάττωση του μεγέθους των αρχείων και ως αποτέλεσμα αυτού, η προσπέλαση των δεδομένων θα είναι ταχύτερη.

Επίσης και το κομμάτι των αριθμητικών δεδομένων θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο «έξυπνα» σχεδιασμένο, για την ευκολότερη ανάγνωση των μεγάλων σε μέγεθος αρχείων από παλαιότερους υπολογιστές. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι και το EPN format, όπου η χρήση δεκαεξαδικής βάσης (hexadecimal), κατέστησε τον όγκο των δεδομένων πιο συμπαγή και η πυκνότητα πληροφορίας που επιτεύχθηκε με αυτόν τον τρόπο δεν έχει να ζηλέψει σε τίποτα τα ευρέως χρησιμοποιούμενα δυαδικά (binary) formats, όπως το EPOS.

- Ευέλικτα (Versatility)

Το εύρος του φάσματος στο οποίο εκτείνεται η παρατηρησιακή αστρονομική έρευνα, υποδεικνύει τη χρησιμότητα που έχει ένα format, το οποίο μπορεί να καλύψει όλες τις πιθανές συχνότητες παρατήρησης. Η εισαγωγή πλήρως παραμετροποιήσιμων μεγεθών, όπως η συχνότητα παρατήρησης και οι συντεταγμένες του τηλεσκοπίου, διευκολύνουν το επιστημονικό έργο. Ειδικότερα με την πρόοδο που σημειώθηκε τα τελευταία χρόνια στο πλαίσιο των δορυφορικών παρατηρητηρίων (GRO, Einstein, Hubble κ.α), όπου η θέση τους μεταβάλλεται με το χρόνο, η επιβολή τέτοιου είδους ευελιξίας είναι αναγκαία.

Τέλος, είναι θετικό ένα τέτοιο format να είναι σχεδιασμένο με την προοπτική της προσθήκης επιπλέον παραμέτρων από το χρήστη. Δηλαδή να υπάρχουν ορισμένες θέσεις όπου να μπορούν να εισαχθούν και να αποθηκευθούν καινούριες μεταβλητές. Το τελευταίο χαρακτηριστικό προσδίδει επεκτασιμότητα, η οποία είναι αναγκαία σε τομείς έρευνας, όπως η αστρονομία.

---

\* Με τον όρο ASCII περιλαμβάνουμε και τους hexadecimal αριθμούς.

- Απλά και εύκολα στην προσπέλαση (Simplicity and ease of access)

Ολοκληρώνοντας, θα πρέπει να τονίσουμε ότι λόγω της ευρείας χρήσης που αναμένεται να έχει το πρότυπο format που περιγράφουμε, είναι ανάγκη να έχει απλή δομή χωρίς εκτεταμένες διακλαδώσεις και ισχυρή μεταβλητότητα από αρχείο σε αρχείο. Μάλιστα θα ήταν ιδανικό, εάν ορισμένα μεγέθη διατηρούνταν σταθερά σε όλη την έκταση ενός αρχείου (π.χ το μήκος του data block). Έτσι, θα υπήρχε ουσιαστική διευκόλυνση για τους προγραμματιστές του software που θα διαβάζει τα αρχεία αυτά. Σαν παράδειγμα αναφέρουμε το EPN format στο οποίο το μήκος του data block παραμένει σταθερό σε ένα αρχείο, αλλά μπορεί να μεταβάλλεται από αρχείο σε αρχείο. Λόγω αυτού λοιπόν, δύναται το μήκος του data block να αποθηκευθεί στο header του κάθε record, με αποτέλεσμα να μη χρειάζεται να γίνει σειριακή ανάγνωση του αρχείου για την εύρεση του μεγέθους του. Το γεγονός αυτό επιταχύνει τη διαδικασία ανάγνωσης για μεγάλα αρχεία και απλοποιεί τον αλγόριθμο διαβάσματος του format.

Ένα ακόμη στοιχείο που αποδεικνύεται καθοριστικό στις μέρες μας, όπου ο όγκος πληροφορίας που καταγράφεται καθημερινώς από τα ραδιοτηλεσκόπια είναι στην κυριολεξία αστρονομικός, είναι η δυνατότητα εύρεσης συγκεκριμένων αρχείων με τη χρήση μηχανών ανεύρεσης. Θα πρέπει δηλαδή το format να περιέχει ορισμένες πληροφορίες που να είναι εύκολα προσβάσιμες από ένα τέτοιο είδος μηχανής κι επίσης να χαρακτηρίζουν ομάδες ή ακόμα και μονάδες αρχείων, μονοσήμαντα. Ορισμένα formats, όπως το FITS (Flexible Image Transfer System) για παράδειγμα, χρησιμοποιούν τα επονομαζόμενα *keywords* (λέξεις-κλειδιά), με τη βοήθεια των οποίων η ανεύρεση αρχείων γίνεται εύκολη. Ιδιαίτερος στο χώρο της ραδιοαστρονομίας που ερευνά ραδιοπηγές όπως τα pulsars, είναι σημαντικό να υπάρχουν στοιχεία στο format για κάθε record ενός multi-record file καθώς και για κάθε κανάλι πόλωσης του record. Αυτό επιτυγχάνεται με συνδυασμό ορισμένου αριθμού από headers και sub-headers μέσα σε κάθε file\* .

### **iii) Υπάρχουν αυτήν τη στιγμή formats τα οποία είναι κατάλληλα για κοινή χρήση από την αστρονομική κοινότητα; Ποιά είν' αυτά;**

Στο πεδίο ανάλυσης αστρονομικών δεδομένων χρησιμοποιούνται σήμερα πολλά διαφορετικά format για τους λόγους που έχουμε εξηγήσει νωρίτερα. Ανάμεσα σ' αυτά συγκαταλέγονται και τα οπτικά formats, πολύ χρήσιμα στην οπτική αστρονομία. Είναι μάλιστα ορισμένα τα οποία αναφέρονται και σαν image formats γενικότερα, δηλαδή όχι απαραίτητα αστρονομικής κατεύθυνσης. Ως παράδειγμα θα αναφέρουμε εδώ το FITS format, το οποίο εν είδει αμερικάνικης προέλευσης (NASA), τυγχάνει ευρείας αναγνώρισης εδώ και αρκετά χρόνια. Το FITS είναι αρκετά εύχρηστο και συμβατό, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για UNIX περιβάλλοντα και γενικότερα πληροί αρκετές από τις προϋποθέσεις ενός υποψήφιου κοινού format. Περισσότερα όμως για το FITS θα αναφερθούν σε επόμενη παράγραφο.

Ένα άλλο format που χρησιμοποιείται για την αποθήκευση εικόνων, φασμάτων κ.α, είναι το *Extensive N-Dimensional Data Format (NDF)*. Το NDF χρησιμοποιεί (n×m)-

---

\* Η δομή του format που υπονοείται εδώ, είναι αυτή του EPN format που θα περιγράψουμε στο κυρίως μέρος της εργασίας..

διάστατους πίνακες για την απεικόνιση των δεδομένων [DATA(n,m)], οι οποίοι πίνακες περιέχουν στοιχεία για κάθε pixel της εικόνας. Τόσο για το FITS, όσο και για το NDF, υπάρχουν αρκετά προγράμματα που να τα υποστηρίζουν, όπως το FITSIO (FITS) και το Figaro (NDF).

Απο την άλλη, η ραδιοαστρονομία, η αστρονομία των ακτίνων-X και γενικότερα εκεί όπου τα οπτικά μέσα περιττεύουν, χρησιμοποιεί σχεδόν αποκλειστικά, αριθμητικά formats δεδομένων. Ένα από αυτά είναι το EPOS (Effelsberg Pulsar Observing System), το οποίο έχει την βάση του στο 100 μέτρων ραδιοτηλεσκόπιο της Βόννης. Σε ένα EPOS αρχείο καταγράφονται πληροφορίες για την παρατηρούμενη πηγή και τις συνθήκες παρατήρησης, όπως και αριθμητικά δεδομένα που αντιστοιχούν σε τιμές έντασης του παλμού μέσα στο χρονικό παράθυρο παρατήρησης. Το EPOS format περιέχει πολλά τεχνικά στοιχεία στο header του, τα οποία αφορούν τις ρυθμίσεις που έγιναν στο RT-100 (το ραδιοτηλεσκόπιο της Βόννης) προκειμένου να γίνει η κάθε παρατήρηση. Γενικά αυτό ήταν το πρότυπο που χρησιμοποιούσαν τα ευρωπαϊκά αστεροσκοπεία μέχρι πρότινος.

Μια βελτιωμένη έκδοση του EPOS format, είναι το EPN (European Pulsar Network) format. Βασίζεται στην ίδια λογική, αλλά έχει σχεδιαστεί για περισσότερη συμβατότητα και ευχρηστία. Οι πληροφορίες που μπορεί να εξάγει κανείς από το header του EPN είναι λιγότερο τεχνικές από αυτές του EPOS και αναφέρονται κυρίως στις φυσικές ιδιότητες της πηγής, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν και οι αναγκαίες παράμετροι που περιγράφουν τις ρυθμίσεις του τηλεσκοπίου. Στο κύριο μέρος της εργασίας θα επικεντρωθούμε στο EPN format, καθώς και στ' αποτελέσματα μιας μικρής στατιστικής ανάλυσης δεδομένων EPN.

Μια σχετικά πιο σύγχρονη μορφή αρχείων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την επικοινωνία μεταξύ αστρονόμων, είναι τα XML αρχεία. Είναι δηλαδή αρχεία τα οποία είναι συγκροτημένα με τη βοήθεια της eXtensible Markup Language. Η γλώσσα αυτή έχει αρκετές ομοιότητες με την πασίγνωστη HTML, η οποία χρησιμοποιείται εκτεταμένα στον παγκόσμιο ιστό. Οι βασικές αρχές με τις οποίες ευθυγραμμίστηκαν οι σχεδιαστές του XML format, είναι:

- *Η άμεση χρήση των αρχείων XML από το Internet.* Όπως και τα HTML αρχεία δηλαδή, θα πρέπει να είναι αναγνώσιμα από απλούς web browsers (π.χ Netscape, Internet Explorer κλπ.)
- *Ευρεία υποστήριξη της XML γλώσσας.* Θα πρέπει δηλαδή να υπάρχει αρκετό software, για την ανάγνωση, εγγραφή και ό,τι άλλο είναι αναγκαίο, του format.
- *Ευκολία προγραμματισμού συμβατού software.* Τούτο έχει σαν συνέπεια το προηγούμενο, αφού, όσο πιο εύκολα υλοποιείται ένα τέτοιο software τόσο πιο πολλοί θα ασχοληθούν με το αντικείμενο παράγοντας καινούρια προγράμματα.
- *Η επεκτασιμότητα να είναι εντός λογικών ορίων.* Οι σχεδιαστές του format θέλουν να παραμείνει αυτό, όσο το δυνατόν πιο απλό, χωρίς να καταστεί αυτό έρμαιο ξένων προσθηκών.
- *Ευκόλως κατανοητό από όλους.* Η προηγούμενη πρόταση έχει σαν αποτέλεσμα τη διατήρηση του format σε επίπεδα κοινής λογικής. Έτσι για παράδειγμα τα XML αρχεία είναι τροποποιήσιμα ακόμη κι από έναν απλό επεξεργαστή κειμένου.
- *Τυπικότητα και λακωνικότητα.* Ένα XML αρχείο θα πρέπει να περιέχει με ακρίβεια όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, ταυτόχρονα όμως θα πρέπει να είναι συμπαγές.

iv) Μια σύντομη περιγραφή της δομής του κάθε format.

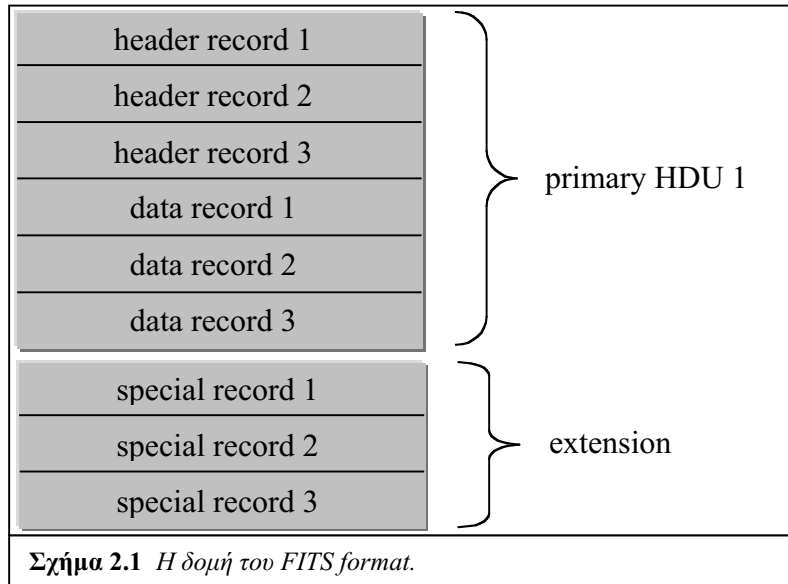
### **FITS (Flexible Image Transport System)**

Το FITS είναι format δεδομένων, το οποίο σχεδιάστηκε, για να παράσχει ένα τρόπο για την εύκολη ανταλλαγή αστρονομικών δεδομένων μεταξύ εγκαταστάσεων με διαφορετικό τοπικό software και hardware. Ίσως αναρωτηθεί κανείς για το νόημα της λέξης 'Image' που εμπεριέχεται στο όνομα του format. Τούτο προέρχεται από την αρχική χρήση του FITS, σύμφωνα με τη οποία προβλεπόταν μόνο η μεταφορά ψηφιακών εικόνων.

Ένα αρχείο FITS αποτελείται από μια ακολουθία λογικών δομών που καλούνται HDUs (Header Data Units). Το header ενός τέτοιου αρχείου συγκροτείται από δηλώσεις του τύπου *keyword = value statements*, οι οποίες περιγράφουν τη δομή και τον τύπο των δεδομένων που ακολουθούν. Μπορεί να υπάρχουν κι επιπλέον πληροφορίες στο header, όπως η κατάσταση του τηλεσκοπίου, βιβλιογραφικές πληροφορίες κ.α. Ύστερα από το header αυτό που ακολουθεί μπορεί να είναι ψηφιακές εικόνες. Εκτός όμως από το πρώτο, δεν είναι ανάγκη να περιέχονται τέτοιου είδους δεδομένα σε επόμενα HDUs. Εκτός από ψηφιακές εικόνες, υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης μέσα στο format και πινάκων, όπως και πολυδιάστατων μητρών (multidimensional matrices).

Έτσι όπως είναι σχεδιασμένο το FITS format, υποδεικνύει ότι μέσα σε ένα HDU δεν είναι αναγκαία η αποθήκευση αριθμητικών δεδομένων. Παρ' όλ' αυτά, εάν αυτό συμβαίνει για το πρώτο HDU (primary HDU), τότε αυτά θα πρέπει να είναι οργανωμένα σε συστοιχία μιας ή περισσότερων διαστάσεων. Για τα περαιτέρω HDUs, τα οποία καλούνται *επεκτάσεις*, είναι δυνατές άλλες μορφές οργάνωσης των δεδομένων, οι οποίες φυσικά υπακούν σε ορισμένους κανόνες.

Το FITS format παρ' ότι είναι χρήσιμο για τη μεταφορά εικόνων αστρονομικού περιεχομένου, δε συγκαταλέγεται ανάμεσα στα γνωστά formats εικόνων (.tiff, .bmp κ.α). Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχουν γενικευμένα προγράμματα (viewers) για την απεικόνιση των FITS αρχείων, αλλά οι χρήστες πρέπει να αναπτύξουν software κατάλληλο για την ανάγνωση και απεικόνιση των δεδομένων που είναι αποθηκευμένα σε ένα FITS αρχείο. Η διαφοροποίηση αυτού του software από ίδρυμα σε ίδρυμα οφείλεται σε διαφορές στο hardware και τις ανάγκες της κάθε έρευνας.



## EPOS (Effelsberg Pulsar Observing System)

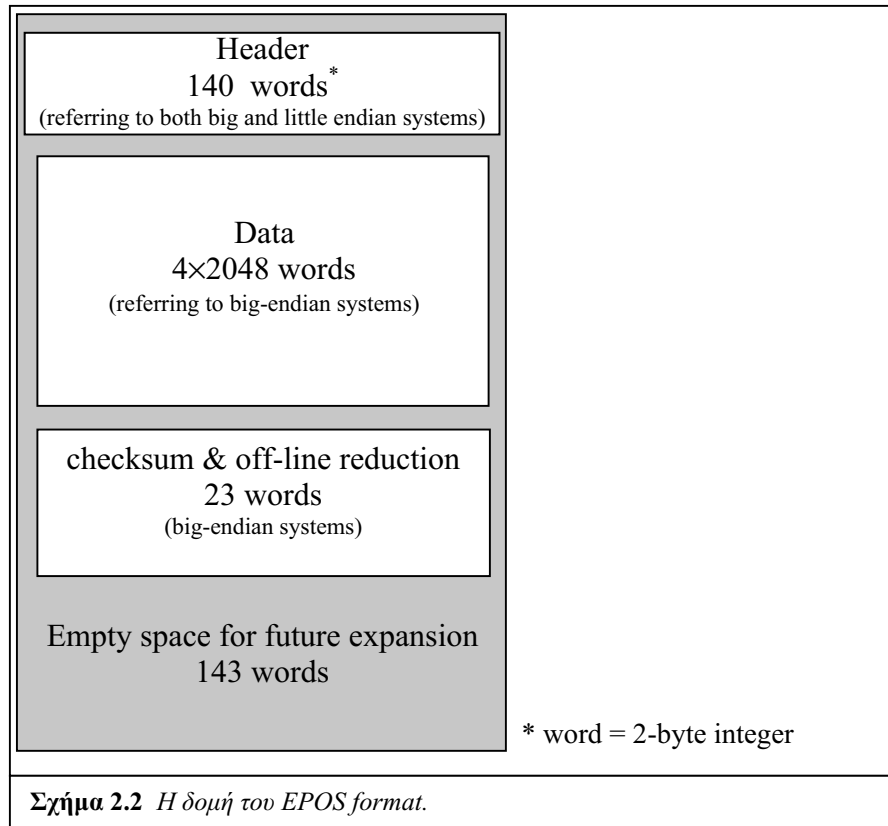
Η δομή ενός αρχείου EPOS είναι στενά συνδεδεμένη με τη μονάδα παρακολούθησης των ραδιοπηγών, που είναι εγκατεστημένη στο τηλεσκόπιο του Effelsberg (RT-100), πράγμα το οποίο υποδηλώνει και το όνομα του format. Τα δεδομένα καταγράφονται από το σύστημα κατευθείαν σε γλώσσα μηχανής (binary) και δε γίνονται κατανοητά, εάν διαβαστούν από κειμενογράφους (text editors). Η χρησιμοποίηση binary δεδομένων όμως έχει αντίκτυπο στη συμβατότητα του format με τα διάφορα υπολογιστικά συστήματα. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι μέρος του EPOS αρχείου είναι φορμαρισμένο για CISC επεξεργαστές (x86, VAX), ενώ το υπόλοιπο για RISC (680x0, UNIX). Το γεγονός αυτό πάντως, καθιστά αναγκαία τη χρήση εξειδικευμένων υπορουτίνων για το διάβασμα/γράψιμο των αρχείων αυτών.

Κάθε EPOS record αποτελείται από 8500 ακεραίους (integer\*2), οι οποίοι καλούνται και λέξεις. Από το σύνολο των λέξεων, οι πρώτες 140 καταλαμβάνονται από παραμέτρους του header. Όπως και στα περισσότερα formats, στο header του EPOS αποθηκεύονται πληροφορίες αναφορικά με την παρατηρούμενη πηγή, τις συνθήκες παρατήρησης και ορισμένα βιβλιογραφικά στοιχεία. Επειδή το format είναι βελτιστοποιημένο για συγκεκριμένο hardware, το header διατηρεί και αρκετές πληροφορίες για τις τιμές των παραμέτρων λειτουργίας του τηλεσκοπίου. Όταν πρόκειται π.χ για παρατήρηση pulsar, υπάρχουν στοιχεία, όπως η βαρυκεντρική περίοδος του pulsar, η μετατόπιση Doppler λόγω ίδιας κίνησης, οι ουρανογραφικές συντεταγμένες, αλλά και πιο τεχνικά στοιχεία, όπως η κατάσταση συγχρονισμού του εσωτερικού ρολογιού, η συχνότητα δειγματοληψίας του σήματος, ο αριθμός των records που περιλαμβάνονται σε μια παρατήρηση (scan) κ.α.

Το κομμάτι, όπου περιλαμβάνονται τα αριθμητικά δεδομένα (data section) της έντασης των παλμών του pulsar έπεται, του header και έχει μήκος 8192 λέξεων. Μέσα σ' αυτό υπάρχουν όλες οι πληροφορίες για την ένταση των παλμών στα τέσσερα κανάλια πόλωσης. Τέλος, υπάρχουν ορισμένες θέσεις που χρησιμοποιούνται από πακέτα ανάλυσης δεδομένων για off-line επεξεργασία και όλες οι υπόλοιπες έχουν προβλεφθεί για την τυχούσα επέκταση του format.



Όλες οι πληροφορίες που περιέχονται μέσα σε ένα αρχείο EPOS περιγράφονται, όπως ειπώθηκε, από ακεραίους αριθμούς ή συνδυασμό ακεραίων. Η εξαγωγή αυτών των πληροφοριών από προγράμματα που είναι συμβατά με το format, βασίζονται στη γνώση της θέσης που κατέχει κάθε παράμετρος μέσα στις 8500 θέσεις. Τις περισσότερες φορές δεν αρκεί ένας Integer\*2 για την περιγραφή ενός δεδομένου του EPOS και αναγκαστικά εκτείνεται η πληροφορία και σε δύο ή και παραπάνω θέσεις. Ο τρόπος που διαβάζεται το EPOS εξηγείται παρακάτω, στην περιγραφή ενός από τα πιο ισχυρά πακέτα ανάλυσης δεδομένων από pulsars.



## XML (eXtensible Markup Language)

Το XML (eXtensible Markup Language) format δεν είναι ουσιαστικά ένας συγκεκριμένος τύπος διάταξης των δεδομένων, αλλά ο χρήστης επιλέγει τη μορφή που θα έχουν αυτά με τη βοήθεια των λεγόμενων *tags*. Τα *tags* είναι κατά βάση «ταμπέλες», οι οποίες τοποθετούνται μέσα σε ένα αρχείο που είναι γραμμένο σε XML κώδικα, για να ορίσουν και να οριοθετήσουν πεδία, όπως τα δεδομένα το header και ότι άλλο χρειαστεί. Έτσι λοιπόν υπάρχουν διάφορων ειδών *tags*, τα οποία χρησιμοποιούνται, για να οριοθετήσουν λογικές οντότητες μέσα στο αρχείο. Αυτά που μπαίνουν στην αρχή μιας τέτοιας οντότητας ονομάζονται *start-tags*. Παράδειγμα ενός *start-tag* είναι το στοιχείο '<PSR2113+2754>' στο παρακάτω παράδειγμα. Συνήθως τα *start-tags* «κουβαλάνε»

πληροφορίες γι' αυτό που ακολουθεί, όπως π.χ κάποιες τιμές που αποδίδουμε σ' αυτά. Αντίστοιχα υπάρχει και το *end-tag* που σηματοδοτεί το τέλος της λογικής οντότητας. Στο παράδειγμα είναι το '</PSR2113+2754>'. Τέλος, υπάρχουν και τα *empty-tags* τα οποία ορίζονται από ένα *start-tag* ακολουθούμενο από ένα *end-tag*, όπως το '<empty/>' στο παράδειγμα.

Η λογική ενός XML αρχείου λίγο διαφέρει από αυτήν των γνωστών hypertext (HTML) αρχείων που συναντάμε συχνά στο Internet, οπότε από αυτήν την άποψη υπάρχει πλήρης συμβατότητα με τα υπάρχοντα συστήματα που χρησιμοποιούνται. Ένα πιθανό σχήμα ενός τέτοιου αρχείου θα μπορούσε να είναι:

```
<!DOCTYPE PSR2113+2754>
<PSR2113+2754>

<!--
  The default attributes are used to make sure every record has
  the same number of attributes, even though they may be empty.
-->

<?xml default HEADER
  name=""
  julian date=
  period=
  dispersion measure=
?>
<empty/>
<!--
  This is the start of the table. Each HEADER tag is a record in
  the table. Whitespace inside tags is ignored, so this can be
  prettyprinted at will. Between the tags, however, only
  newlines are ignored, and only those that immediately follow a
  `>' or that immediately precede a `<'
-->

<HEADER
  name = "1937+214"
  julian date = 48668.246
  period      = 1.202851772308
  dispersion measure      = 24.7
/>
<CHANNEL I
<DATA
000000010000000001111111100111110111111...
/>
/>
</PSR2113+2754>
```

Η σχετική ελευθερία που υπάρχει στη σύνταξη του XML κώδικα, ίσως δυσκολέψει τον προγραμματισμό συμβατού software, το οποίο θα μπορεί να αναγνώσει όλα τα πιθανά σχήματα ενός τέτοιου αρχείου. Εάν όμως καταστεί πρότυπο, ως αστρονομικό format, είναι σίγουρο ότι θα υπάρξει συμφωνία ως προς την πιο συμφέρουσα μορφή.

## **The EPN format**

The European Pulsar Network has made an effort in the last 5 years to produce a tool of communication between the researchers of pulsar radioastronomy. This effort has resulted in a data format which is quite complete and versatile. The *EPN format* is currently used not only in Europe, but also internationally. It helps the scientists collect pulsar data, especially at low frequencies, and compare them with the older EPOS data at higher frequencies.

The following pages describe the structure of the format and demonstrate a simple pulsar analysis done with software that implements reading/writing of EPN files. The goal is to show that the EPN format is appropriate for common use among the international pulsar research community.

## *The Structure of EPN files*

An EPN file may contain multiple records, which consist of a main header followed by one or more data streams. Each data stream starts with a sub-header that contains information about the following data. There are usually four data streams in a pulsar record, which correspond to the four polarization channels (I, Q, U, V); other data, such as individual bands or a combination of the above, may be included too.

Header, sub-header and data are all formatted as a sequences of 80-character lines. The length of each data stream (i.e. the number of 80-character lines) may vary from record to record, but it must be the same for all data streams in the same record and its value is declared in the header of each record. However all EPN records have the same header and sub-header length. More specifically, each header consists of 480 bytes, including spaces, which is enough to describe the record's properties. The sub-headers have a standard length of 160 bytes. Those standard lengths for header and sub-headers, help the programmers to design simple routines for reading each file's properties.

Due to future portability issues, the designers of the EPN format opted to use only ASCII characters throughout the files. Unlike the previous EPOS format used with Effelsberg's hardware, platform independent tools can be easily utilized for reading or writing EPN files. This is because ASCII code is always translated to binary, independently of the processor's type (little-endian for CISCs, big-endian for RISCs). Of course there is a minor speed disadvantage because of the translation time, especially for larger files; but the recent technological advance made that an insignificant factor comparing to platform independence.

Whereas in earlier versions of EPN format, decimal integers were used for data representation, these were replaced by hexadecimal data streams in versions 5.0 and 6.0. This resulted in EPN files becoming more compact. The end of each data stream is indicated by a sequence of zeroes placed after the last data hex character.

In the next few paragraphs the elements of the EPN header and sub-header are described, as well as the space they occupy.

### **EPN header**

The first 80-character line of the header, consists of the following parameters:

1. *version (8 ASCII characters)*. Stores the version of the EPN format used in the file.  
e.g. 'EPN 6.00'
2. *counter (4-digit integer)*. The number of 80-character lines that constitute the record.
3. *history (68 ASCII characters)*. History of the data and various comments are stored in this parameter. They can be used by a search engine to locate EPN files easier.  
e.g. 'Pulse profile from Qiao et al. (1995)'

Second line:

4. *jname* (12 ASCII characters). This parameter stores the pulsar's name, taken from the J2000 astronomical catalog of the Smithsonian Institute. The name is stored solely by means of right ascension and declination.  
e.g. '0809-4753'
5. *name* (12 ASCII characters). Represents the common name of the pulsar.  
e.g. 'B0808-47'
6. *Pbar* (16-digit float number). The current barycentric period of the pulsar, measured in seconds.
7. *DM* (8-digit float number). DM stands for *dispersion measure*. It is measured in parsecs per cubic meter.
8. *RM* (10-digit float number). RM stands for *rotation measure*. It is measured in radians per square meter.
9. *CATREF* (6 ASCII characters). Indicates the pulsar parameter catalogue in use.  
i.e 'qmlg95'
10. *BIBREF* (8 ASCII characters). Bibliographical reference key or observer's name. Very useful when searching for particular files in a database.
11. *--empty space--*. 8 characters of empty space are left between the second and third line of the header, for expansion.

Third line:

12. *RA<sub>2000</sub>* (2-digit integer, 2-digit integer, 6-digit float). This parameter is the right ascension of the source according to the J2000 astronomical catalog. Its format is hhmmss, where hh and mm is the 2-digit hour and minute representation, respectively. The seconds (ss) require greater resolution, and so float number format is used.  
e.g. for the source PSR0809-4753: '080900.000'
13. *DEC<sub>2000</sub>* (3-digit integer, 2-digit integer, 6-digit float). The *declination* of the source according to the J2000 catalog. Its format is *ddmmss* (*degrees-minutes-seconds*).  
e.g. for the source PSR0809-4753: '-4753 .000'
14. *telname* (8 ASCII characters). Name of the telescope or location of the observatory (site).  
e.g. 'parkes'
15. *EPOCH* (10-digit float). The *modified Julian date* of observation (days).
16. *OPOS* (8-digit float). The relative or absolute polarization position angle of telescope in degrees; depending on PAFLAG's value, the information stored in the header could refer to either.
17. *PAFLAG* (1 ASCII character). A flag that defines whether the absolute polarization PA is available or not. If it isn't there is a possibility for the relative polarization PA to exist or neither of the above is displayed.  
e.g. if PAFLAG = 'A' and *Npol* = 4 then absolute polarization PA is available.
18. *TIMFLAG* (1 ASCII character). A flag that defines whether time stamp

represents barycentric or topocentric universal time.  
 i.e. if TIMFLAG = 'U' then time stamp is topocentric UT  
 if TIMFLAG = 'B' then time stamp is barycentric UT  
 else there's no useful timing information.  
 19. *--empty space--*. 31 characters of empty space are left between the third and fourth line of the header, for future expansion.

Fourth line\* :

20. *Xtel, Ytel, Ztel (17-digit floats)*. Telescope coordinates.  
 21. *--empty space--*. 29 characters of empty space are left between the fourth and fifth line of the header, for future expansion.

Fifth line:

22. *CDATE (2-digit integer, 2-digit integer, 4-digit integer)*. Stores the creation or modification date of the dataset. Each time the file undergoes any changes, this parameter is updated. Because of its dynamic nature, this parameter is not to be taken into account when calculating pulsar's properties (i.e. period, rotation measure), as many of these ought to change with time.

e.g. '12031997'

23. *SCANNO (4-digit integer)*. The EPN header uses this parameter to characterize the observation. SCANNO (scan number) is the serial number of the observation. There might be just one record in an observation, but usually many records with the same SCANNO constitute a single SCAN.

e.g. a 5 minute observation of the pulsar PSR 1932+1059 produced 10 records, each one with resolution of 66 pulses. To achieve a constant resolution within the file, the observation is divided in time segments of 15 seconds each. All of these records belong to a single observation with SCANNO = 2121.

```
SCAN 2121. PSR 1932+1059.19/ 7/98 4: 2:43.22785. rec_scan 0. record 1.
SCAN 2121. PSR 1932+1059.19/ 7/98 4: 2:58.47848. rec_scan 0. record 2.
SCAN 2121. PSR 1932+1059.19/ 7/98 4: 3:13.42867. rec_scan 0. record 3.
SCAN 2121. PSR 1932+1059.19/ 7/98 4: 3:28.37886. rec_scan 0. record 4.
SCAN 2121. PSR 1932+1059.19/ 7/98 4: 3:43.32905. rec_scan 0. record 5.
SCAN 2121. PSR 1932+1059.19/ 7/98 4: 3:58.27924. rec_scan 0. record 6.
SCAN 2121. PSR 1932+1059.19/ 7/98 4: 4:13.22947. rec_scan 0. record 7.
SCAN 2121. PSR 1932+1059.19/ 7/98 4: 4:28.17966. rec_scan 0. record 8.
SCAN 2121. PSR 1932+1059.19/ 7/98 4: 4:43.12985. rec_scan 0. record 9.
SCAN 2121. PSR 1932+1059.19/ 7/98 4: 4:58.08004. rec_scan 0. record 10.
```

24. *SUBSCAN (4-digit integer)*. Defines the sub-sequence number of the observation. Similarly to scan numbers, sub-scan numbers characterize smaller parts of an observation.

e.g. '00010001' means that the following data stream is referring to the first sub-scan of the first scan.

---

\* For versions newer than v6.0.

25. *Npol (2-digit integer)*. The number of polarization channels observed. Most records have  $N_{pol} = 4$ , which means that the four Stokes polarization parameters I, Q, U, V are recorded. However, in some cases, a record contains observations from two (or more) observatories and consequently the  $N_{pol}$  is equal to the total number of channels from both observations and thus take the value of 8 or more.

e.g. the synchronous observation of the source PSR B0329+54 by both Effelsberg and Lovell observatories produced records with 8 channels. Each site recorded four channels.

26. *Nfreq (4-digit integer)*. Number of frequency bands per polarization. It is possible for an observation to be performed by different telescopes, operating at different frequencies. This will produce records with more than one frequency band for every polarization channel (e.g. Q-channel).

27. *Nbin (4-digit integer)*. This parameter indicates the number of *bins* which constitute every data channel in a record. A bin is defined as 2 bytes of data and so, as we have already explained, it is equivalent with a 4-digit hexadecimal number or a 16-digit binary number (1/0).  $N_{bin}$  can take values from 1 to 9999, but typical values range from 256 to 1024 bins/data stream.

28. *tbin (12-digit float)*. Duration of a phase bin in  $\mu sec$ . That is, the sampling interval which is spent to write the information included in a bin, to a data stream.

29. *Nint (6 integers)*. The number of integrated pulses per record. Each record holds information for a specific number of pulses, called *resolution* of the record. This number remains constant throughout a SCAN and it might as well be called, resolution of the SCAN.

30. *ncal (4-digit integer)*. The time elapsed from the start to the first calibration bin. It is a multiple of  $t_{bin}$  and it is measured in  $\mu sec$ .

31. *lcal (4-digit integer)*. The duration of calibration signal. That is, the time elapsed from the recording of the first calibration bin to the last one. It is also measured in integer multiples of  $t_{bin}$ .

32. *Fcal (8-digit float)*.  $F_{cal}$  is the calibration constant measured in mJy (milliJanskies). Along with the pulses that are recorded during an observation, we ought to store in the record an amount of bins for calibration purposes. This will help us calculate the energy flux of the pulses contained in a record. Based on the well-known energy value of the calibration signal, we deduce a factor ( $F_{cal}$ ) which normalizes the flux density of the pulses.

33. *FLUXFLAG (1 ASCII character)\**. This parameter is a recent addition and it defines whether data is calibrated in terms of flux or not. Like TIMFLAG and PAFLAG, FLUXFLAG does not necessarily appear amongst the header's elements.

e.g. if FLUXFLAG = 'F' then data is flux calibrated. Any other value is translated as non-calibrated data.

34. *--empty space--*. 20 characters of empty space are left between the fifth

---

\* As from Version 6.0, actual resolution of the data is recorded; the factor  $f_{cal}$  is no longer recorded, instead the flag fluxflag is written into line 5 to specify whether the data is flux calibrated or not.

and sixth line of the header, for future expansion.

Sixth line:

35. *line40,line40 (80 ASCII dashes)*. The sixth line contains no information and is used to separate the header from the sub-header.

### **EPN sub-header**

The sub-header lines are attached to every data stream and contain parameters concerning the respective stream. Those parameters are:

First line:

1. *IDfield (8 ASCII characters)*. Indicates the type of the data stream and characterizes the filter bank or the polarization channel.  
i.e. the I, Q, U, V Stokes parameters
2. *nband (4-digit integer)*. Ordinal number of the current data stream.
3. *navg (4-digit integer)*. Number of streams averaged into the current one.
4. *f<sub>0</sub> (12-digit float)*. Effective center sky frequency of this stream. It is basically the observation frequency in GHz. The value depends on the telescope's capabilities and the requirements of the observation, but typically varies from 0.3 to 1.4 GHz.

Certain observatories in Russia, are able to conduct milli-metric observations at frequencies from 42 to 49 GHz. At such frequencies, cryogenic coolers are needed for the primary receiver.

5. *Δf<sub>0</sub> (12-digit float)*. Effective band width. The observation is carried out within a range of frequencies around  $f_0$ . This range is measured in MHz.
6. *tstart (17-digit float)*. It's the time elapsed since the beginning of the current Julian day, measured in  $\mu sec$ .
7. *--empty space--*. 28 characters of empty space are left between the fifth and sixth line of the header, for future expansion.

Second line:

8. *OFFSET (12-digit float)*. Offset to be added to the data.
9. *SCALE (12-digit float)*. Scale factor for the data.
10. *RMS (12-digit float)*. It is the RMS value calculated for the corresponding data stream.
11. *Papp (16-digit float)*. Pulsar's apparent period at the time the first bin is recorded, measured in sec.
12. *--empty space--*. 28 characters of empty space are left between the fifth and sixth line of the header, for future expansion.



## EPN data

The data part of an EPN record is written, as we have already mentioned, in hexadecimal format for the latest versions, while previous versions make use of base-10 numbers. An EPN record does not necessarily have all the filter banks or the polarization channels. There are cases for example where only the  $I$  channel is present. However, every channel must be a sequence of  $4 \times Nbin$  hex characters, not including the zeroes at the end. Since every hex character represents half a byte and every bin is equivalent to 2 bytes, there are  $2 \times Nbin$  bytes in every channel and obviously  $Nbin$  bins. We can deduce a general formula that gives the maximum number of characters in an EPN record, and thus the maximum record length. Let  $maxblk$  be the maximum number of data streams included in a record (i.e.  $Ia, Ib, Qa, Qb...$ ). Also, assume that each data stream consists of  $maxbin$  bins. Every one of those streams, occupy  $maxbin/20$  80-character lines plus 2 lines of the sub-header. So, the number of characters per record is  $(6+maxblk*(maxbin/20+2))*80$ . Where 6 is accounted for the 6 lines of the header. An example of all these, could be for  $maxblk=8$  and  $maxbin=4160$ . This results to  $(record\ length)=66080$  hex characters.

To make the data structure more comprehensible, a part of an EPN record is shown below. This example is a part of a four-channel EPN record which contained all four Stokes channels  $I, Q, U, V$  and is extracted from an observation made at the Parkes array (Australia), by Qiao et. al. Written in bold is the  $Nbin$  parameter of the header.

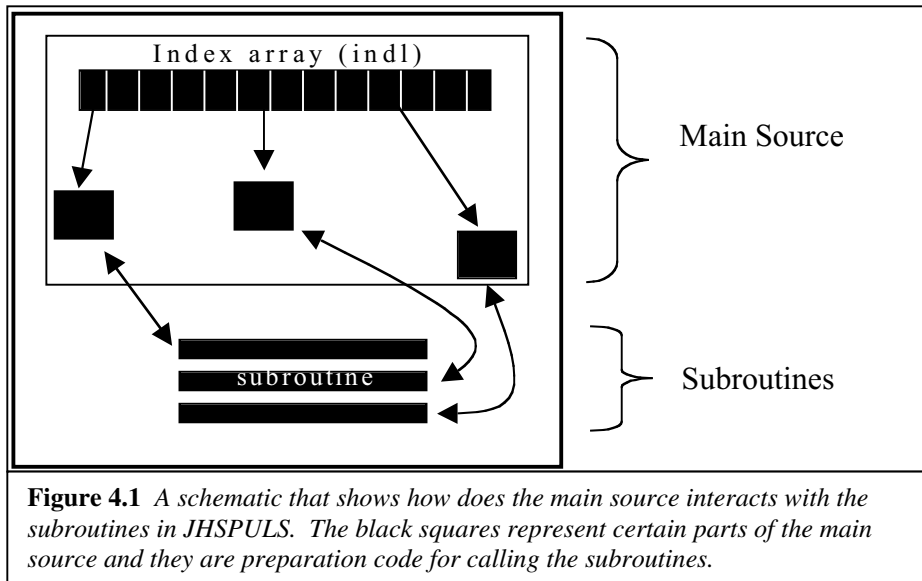
```
EPN 6.00 66 Pulse profile from Qiao et al. (1995)
0809-4753 B0808-47 .547189669000 228.300 90.000 qmlg95
080900.000-4753 .000parkes 48151.142 .000
.00000 .00000 .00000
0818199700010001 4 1 256 2137.000000 3186.000000 1 1 1
-----
I 1 1 1.44000000 GHz 160.000000 MHz .00000
.591131E+03-.133926E+02 .330341E+01 .547189669000
1AD92ADB29A028172BC7199E25124A7B63FD7FFBBC05CB0DFFFEEB19EC3EC9AFAA077CA85B8D52F9386
1302A3181328A2EA81A7C25F722AB254C305C174C13791C4D21E31B4433AF1A43145D2333230F38C51EC22E9
9249226B81AC33B2C14AC3AB917C62A7E372D1F18215B1EC214732F6222CF15D83718189528D8317A31881A
AE261B0B7B3F321F5814481847043F242E1098218D2C0730CE22F32EF629AE19901B9A1EC928332C39113C208
51AD223FB1EB418401D96138E1F3C2E35286536FB27D617A91B5911F621C61AE01B932403389A3563163D267F
25CC245819FB1DCF30AB2411282C26301BBE10D1258512F823742C881BF02FB012942BF9114B0E7F2D022C48
1F661676151712BF201931561F4A164B1F6E1B6F18A413A313DD1DA41F913CAE147A21DC2F3E2CF32B78235
E287420AF26F90D0C1D1C1A0917BF0F732D9129C40BFC148F1A0220E216AF369004221D3913461CFF1E41280
923D112F826C013060ADE000032AD2C6B12B720A819BB28FC1ED720441CFF1E73080B23C919F418DD1FA01
DD61E8222C81A2617BF1A9F15F516E80E061A513F5D1C1310491DB915CA1A1805151D871509170C373B1EFB
08E21EA521C6134E11F628CA31641A4A070A1C4D29671B3617CD1C5B197316D329D9128510C31C8629991872
1481132A0B7B185C1B3D25A90963236528CA1DAB21302B311745106618DD24EF0000000000000000
```

## **Working with pulsar data**

### ***The JHSPULS application***

In most mathematical and generally scientific applications, Fortran language has proven to be more than a functional tool. Using that programming tool, we were able to construct an application, called JHSPULS, not only for reading but also for analyzing and even for writing back to pulsar data files. JHSPULS can handle plotting, printing, Fourier transforming as well as many other functions. It has quite a complex structure with many subroutines and its source exceeds 3000 lines of code. It is currently aiming at the analysis of EPOS files, but it has the capability of reading .ASC (ASCII) and .ADD files as well. In this section, the way JHSPULS reads EPOS formatted files is described in brief. However it is recommended to begin with a short description of the source's structure.

JHSPULS embeds a great number of Fortran subroutines which are called from within the main source. This connection is made possible by using an index array (`indl`) which points at specific parts of the main source. These parts, in turn, call the subroutines which reside outside the main source. Of course there can be further interaction between subroutines and parts in a single subroutine.



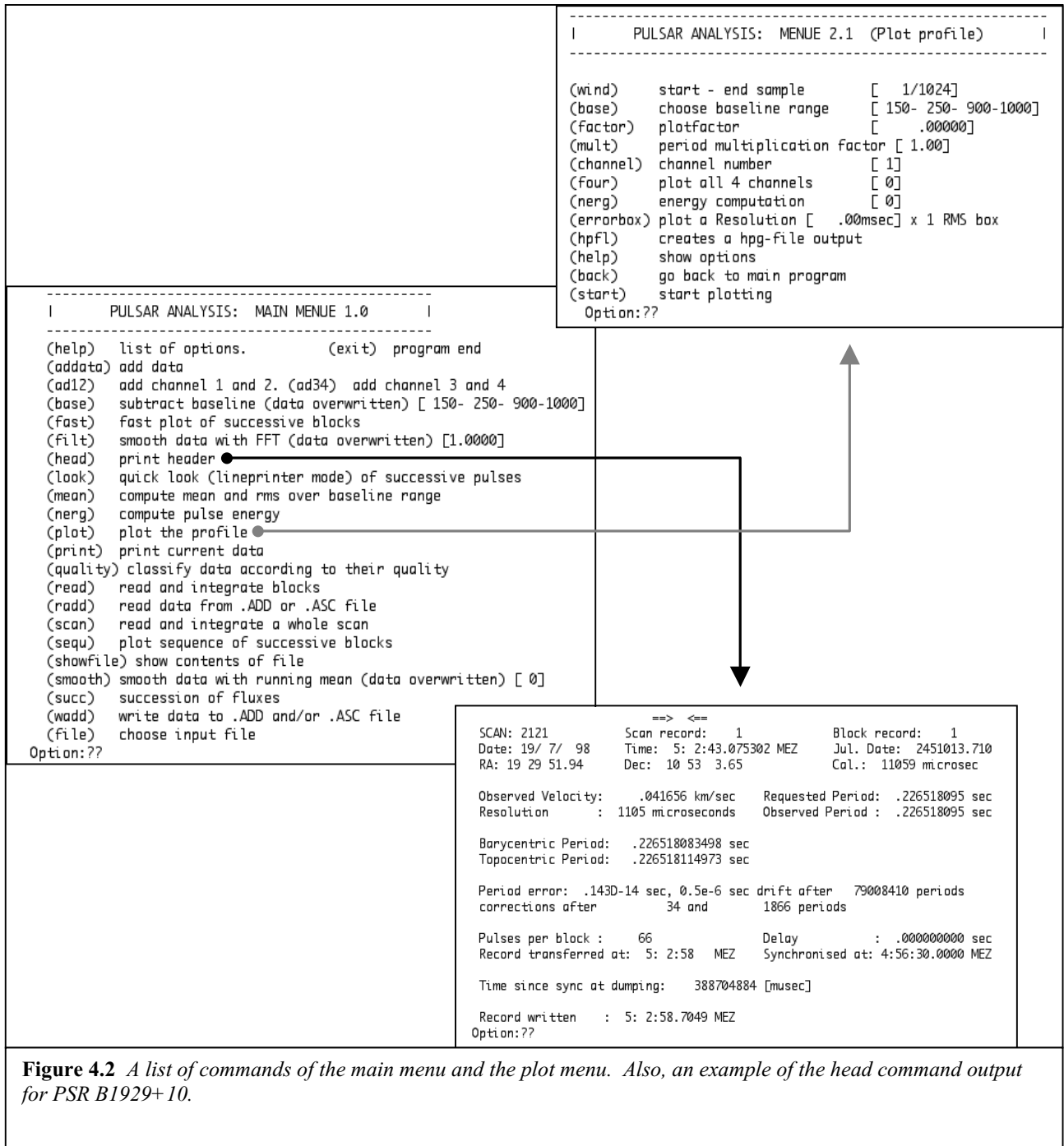
Most subroutines or even the main program, make use of certain *include files* which contain declarations of variables and/or more subroutines. JHSPULS uses widely the include file `data.f` which contains all the header and data information for the EPOS. This file declares an array of 8500 2-byte integers (`iblock`) which holds information in specific positions of the array. Information is accessed by using equivalence statements to associate the header's parameters with the `iblock`'s locations. For instance, the right ascension of the source is characterized by the integer-4 `ialph` parameter of the EPOS header. The value of `ialph` is stored in the position 12-13 of `iblock` array, as 2 integer-2 binaries. In that case there is an equivalence statement that equates `iblock(12)` and `iblock(13)` to `ialph*`. The data is also associated with four arrays which correspond to the four polarization channels, using equivalence statements. Although this model of accessing the data is much faster than reading the parameters sequentially in the record, the equivalence statements are incompatible with many compilers which makes it hard to port JHSPULS to other platforms.

User interaction in JHSPULS is menu-based. The listing of options a graphical illustration of the `ind1` array discussed above. Usually the first choice is to *open* an EPOS file for direct access. After that, the most common choice is to *read* and *add* a number of EPOS records in a SCAN; this will produce an integrated pulse profile which can be plotted afterwards. Another possibility is to examine the contents of an EPOS file with the *show* command. This will present some information regarding the SCAN number (`scanno`), the duration of each record, the number of records etc. A list of the most important option fields of JHSPULS is shown in figure 13, page 38.

The *read* command plays an important role in understanding the way JHSPULS functions and will thus be presented extensively in the following paragraph.

---

\* The statement is `equivalence(ialph,iblock(12))`, but as `ialph` is `integer*4`, `iblock(13)` is taken into account automatically.



**Figure 4.2** A list of commands of the main menu and the plot menu. Also, an example of the head command output for PSR B1929+10.

## ***Reading and adding data***

When selecting the *read* command from the main menu of JHSPULS, the main program requests the following information:

- Initial record (variable *first*): The initial record number from which the summing procedure will begin.
- Last record (variable *last*): The final record number to which the summing procedure will end.
- Data shift amount (variable *rshift*): Any value other than 0 (default), shifts the data by the requested bins per minute.

Then, the program calls the subroutine `add_puls` which makes zero all four channel data arrays `rdata1`, `rdata2`, `rdata3`, `rdata4` and sets the record counter `ptr` to the first record number (`first`). Subroutine `getbl` uses `ptr` to read the  $4 \times 1024$  data numbers of the first record and the corresponding header info. This is done by calling the subroutine `myRead` from within `getbl`. The variable `ptr` is passed through `getbl` to `myRead`, which reads and fills the `iblock` array with the data contained in the current record (i.e. the `ptr` record). The above procedure is then repeated by increasing `ptr` by one for each loop. Each time a quartet of channels is read, the data is loaded into 4 intermediate integer arrays, named `idat1`, `idat2`, `idat3`, `idat4`, through equivalence statements that bind certain areas of the `iblock` array to `idat` arrays. Those intermediate arrays act as a buffer and are refilled in every record processing. The `idat` arrays transfer their information to `rsum` arrays through a regression algorithm of the type `rsum1(i) = rsum1(i) + float(idat1(j))`. Integrated data is then stored into `rsum` arrays which represent the sum of every data in the records from `ptr=first` to `ptr=last`. If there is a requested shift of data, this is taken into account during the regression algorithm, before any addition\*.

After all the data is successfully written into the `rsum` arrays, the last step is to call the subroutine `add_puls` once more to transfer the summed data back to the `rdata` arrays. This will bring the EPOS information into the main program and make it available to all the other subroutines for plotting, Fourier transforming etc. At this stage, the program multiplies the `rsum` arrays with a normalization factor (`fac`) which depends on the number of records added (`iadct`).

## ***Evolution of JHSPULS. The JHSEPN.***

As discussed in the introduction, the EPN format has many advantages over the older EPOS format and it is widely accepted that the former is appropriate for exchanging pulsar data. Therefore it was necessary to modify the main source of JHSPULS and implement a few new subroutines in order to make it capable of processing EPN data. These generalized EPN routines for reading or writing existed even before they are included in JHSPULS. However, the additional analysis that JHSPULS is now able to carry out, such as the simultaneous observation of single pulses in two different

---

\* Shift is achieved by declaring `j=i+ishft`, where `ishft` is the truncated number of shifted bins.

frequencies, wasn't possible in any other similar application. The improved version of JHSPULS has been renamed to JHSEPN to separate the old from the new code.

In the following sections there is a detailed description of the basic changes that were made throughout the code and a simple explanation of the newly embedded EPN subroutines.

## Files required for compilation and execution

Many of the subroutines and variable declarations needed for the implementation of EPN processing, are included in separate files. The main program incorporates these files by using the *include* command, as it happens for example with the data.f file in the case of EPOS. These extra files needed, are\* :

### epnhdr.inc

It contains the declarations of all of the EPN header's and sub-header's parameters.

### epnroutines.f

This file defines all the necessary subroutines needed for the JHSEPN to read and write to records.

### repn.f

This file is the «engine» of EPN reading. It contains the read statements which extract the data from an EPN file and also the subroutines which convert the hexadecimal values to binary or vice versa, depending on the case.

### nepnrec.f

Contains a short algorithm for calculating the number of records in an EPN file.

## Explanation of the basic subroutines

The following subroutines were mildly modified in order to make them work with JHSEPN.

### openepn(filename, lun, recno)

**Summary:** Part of the epnroutines.f file. When selecting the *open* command in JHSEPN, this is the first subroutine that is used for associating the requested file with a logical unit number and make the file available for direct access reading.

**Description:** The parameter list contains the name of the file (*filename*) which is provided by the user, the logical unit number (*lun*) and the record number (*recno*). The *lun* parameter is always set to 99, as there is no reason for an alternative assignment. On the other hand, we are forced to use the record number parameter, since

---

\* File organization may change in versions to follow.

the header of the first record must be read. Thus, `lun` and `recno` are initialized as 99 and 1 respectively.

At the beginning, `openepn` checks if the file exists with an `inquire` statement. If it does, it closes all open logical unit numbers -that may be open from a previous reading- and opens the file as DAUF (Direct Access Unformatted FILE) with record length equal to 400 characters. These first 400 characters of the header, contain information about the record's length and the number of polarization channels. So, it reads the header parameters `counter` and `npol` (see EPN header). Using this record length, it reopens the file as a direct access unformatted file and reports the number of records that contains. The file is then ready for access.

`permission(grant, lun, recno)`

**Usage:** Part of the `epnroutines.f` file. `permission` is a simple subroutine, which is used for checking if there is a change of source during the reading procedure.

**Properties:** It takes as an input, the logical unit number and the record number, and gives the logical variable `grant` as an output.

**Function:** The basic function of the subroutine `permission` is to compare the record length calculated during the opening of the file, which is equal to the first record's length, with the length of the current record (`length`). If those are different, there is a chance that we have jumped onto another SCAN.

The subroutine starts by equating `recln` and `length` variables. Next, it calculates the current record's length by its counter and if it differs from `recln`, it assigns `false` to variable `grant`.

`epnhead(filename, lun, recno)`

**Summary:** This is the basic subroutine for extracting information from the EPN file's header. It is initiated by the user, after selecting the command `head` from the main menu.

**Description:** The parameter list of `epnhead` is the same as `openepn`'s. This subroutine declares among others the character array `recrd`. The dimension of this array is defined by the parameter `maxrec`, which is the maximum record length of an EPN record (see EPN data). Only a part of the array is filled with data in most of the cases, while the rest remains empty.

As soon as the subroutine is called, a read statement is used for reading sequentially the file's record. Every character of the record is then loaded into the `recrd` array. The next step is to use read statements for every line of the header, in a way that the values/characters read from `recrd`, are assigned to the corresponding variables of the header. This requires of course an adequate knowledge of the position and type of each variable (see EPN header).

After reading all the header's variables, the sub-header's variables are also processed. This procedure is a little more complex, because every data stream has its own sub-header and each sub-header has its own parameter values. Consequently, a do-loop is

used to scan every polarization channel. That's the reason why sub-header's variables come in the form of functions of `ipol`, which is the counter that shows the current channel number.

Now, the memory (RAM) holds enough information to print the header sheet, and so the next lines of the subroutine are just a sequence of properly formatted write statements that will display the values on-screen or print them on paper. It must be pointed out that in the same way the sub-header was scanned with a do-loop, the sub-header data is also printed.

Finally, the subroutines calls from within its code, another subroutine which will be described next.

#### epncorrel

**Summary:** The correlation of EPN variables to the EPOS ones.

**Description:** This subroutine has no parameter list. The variables' values are passed through the rest of the program, using the include file `data.f` which contains the appropriate common statements.

`epncorrel` contains only equations that link the older EPOS header variables to the newer EPN. Not all of the EPN parameters have their counterpart in the EPOS format, but this subroutine handles only these which are common in both formats.

#### getEPN(inpo, recno)

**Summary:** This subroutine plays the same role as `getbl` in reading the EPOS files. It calls other subroutines which do the reading and it also performs a normalization and amplification of the data, in case of a really weak source.

**Description:** As an input, `getEPN` takes the record number `recno` and the error flag `inpo`, which is used for error-handling purposes.

As soon as the local variables are declared, the subroutine initializes the error flag to zero (i.e. no error) and sets values for the pointers `is` and `ie` (e.g. `is=0` and `ie=1024`). Once this is done, it calls the subroutine `readepn` which reads a record of the file and fills the data into the four data arrays (see above). Then the minimum and maximum values of the data arrays, are calculated by the subroutine `rmami`. This helps to amplify very weak data by a factor of  $10^5/rmax$ , where `rmax` is the maximum value of the array. This is done because data below the value 1, will be truncated when converted to integer and the decimal part will be lost. So, we make sure at least, that the maximum value is  $10^5$ .

Finally, the real arrays `data1`, `data2`, `data3` and `data4` -which hold the data read by `readepn`- are converted to integer arrays and return their truncated values to `idat1`, `idat2`, `idat3` and `idat4`. These are the buffer arrays that we have discussed earlier.



readepn(filename, recno, data1, data2, data3, data4)

**Summary:** This is a very important subroutine. It scans all the bins in every polarization channel and fills the four data arrays with the selected subset of channels.

**Description:** The input of the routine is the filename and the record number. The output is the four real arrays which contain the four selected data channels.

Before everything else, `readepn` clears all the data that may be contained in the four data arrays. This is done with a do-loop for all the bins in every array. After that, the subroutine `repn` is called, and as explained later, this is the part where every bin of the record is being read and loaded into as many arrays as the number of channels in the record. These arrays can be plenty, but the `readepn` routine selects only a set of four arrays, that represent the polarizations chosen by the user for analysis. This is achieved by using a double do-loop. The external loop scans all the polarization channels, while the internal, scans every bin from 1 to 1024, for every channel. Inside the internal loop there are four `if` statements. Those statements are used for selecting which subset of the whole number of channels is going to be processed. It must be said that the loop is designed in such way, that all of the selected channels are successive\*.

repn(filename, recno)

**Summary:** This subroutine is the core of the program's EPN capabilities. There are many similarities with the `epnhead` subroutine, but `repn` has also an algorithm for reading the numerical data of each stream. Throughout the subroutine, there are some version checks which are necessary because of the changes that have taken place during the last versions of the EPN format.

**Description:** The input parameters are the filename and the record number, whereas the output is the common array `rawdata` which is used by `readepn` to pass the data to the four data arrays `data1`, `data2`, `data3` and `data4`.

Initially, `repn` subroutine reads all the data in a record and puts them in the `recrd` array. Then, in the same way as EPN does, it reads all the values of the header and sub-header. Next, `repn` proceeds in reading the data streams by using a nested loop structure; the external loop scans all polarization channels and the internal scans all lines in a channel\*\*. Knowing this, it's easy to implement a second do-loop inside the first one - which is used to scan all the polarization channels- and scan all the lines within a polarization channel. The data which is read from the `recrd` array is copied to a buffer array named `chrdata`, that holds every character, integer (< v5.0) or ASCII (≥ v5.0). At the same time the data is formatted as 20 4-character ASCIIs per line. The buffer array is useful for the conversions to follow. That is if the EPN file is version 5.0 or newer, the contents of `chrdata` is converted to integers and transferred into a second buffer array, the `intdata`. For earlier versions there's no need for such conversion and

---

\* Until now, there are no known EPN files that contain an orderless subset of channels.

\*\* For version earlier than v6.0, the number of lines in each stream is calculated by `nlin=(counter-4)/npol-2`, whereas recent versions use `nlin=(counter-6)/npol-2`. `nlin` is the number of 80-character lines in a data stream.

the integer sequence of `chrdata` is directly copied to `intdata`. Finally, the contents of `intdata` is de-scaled and transferred into the real array, `rawdata`. Hex-to-integer conversion and de-scaling is carried out by separate subroutines.

#### The `epnhdr.inc` file

This file is the equivalent to the `data.f` file included in EPOS related programs. There are no subroutines or any structured code in `epnhdr.inc`, but instead it contains definitions and declarations of variables and parameters which are widely used in JHSEPN. The main idea is to include `epnhdr.inc` in all subroutines that make use of EPN variables directly (i.e. `epncorrel`) or even indirectly (i.e. `epnhead`). That way all relevant declarations are gathered in one place which makes programming simpler, more compact and less error-prone.

The declarations of variables and common blocks are organized according to the header line they represent. Every one of these blocks contains all of the lines' variables, although there is a `common` block that was introduced for some extra variables, which are related to the modifications made to the main program (see next page). As far as the sub-header and data is concerned, this file provides definitions for certain parameters like the maximum number of channels (`maxblk`), the maximum number of bins in a data stream (`maxbin`) and the array `rawdata`.

The subroutines described above, are processing one record at a time. Thanks to the parameter `recno`, which is included in every such routine, the main program repeats the reading procedure by calling the subroutines for every record requested, making it possible to read all the records and add them with each other. This procedure is controlled by the `read` command of JHSEPN's main menu, and it is similar to the reading and adding of JHSPULS that was done for EPOS files. However, there have been certain additions to the main code of JHSPULS to obtain JHSEPN. These modifications are described below.

### **Modifications to the main program**

The following areas of the main program contain the most substantial modifications to JHSPULS:

#### **Declaration area**

Apart from the necessary inclusion of `epnhdr.inc`, four more variables are declared. Those are the two integers `lun` (logical unit number) and `nepnrec` (number of EPN records per file), as well as the two logical variables `filex` (indicates EPN file existence) and `grant` (prevents jumps into different SCANS). The barycentric period `Pbar` is omitted from the main variables but included in `epnhdr.inc` for common use.

An extra command (`sepn`) is included in the index array `ind1` for altering the EPN header values. Because of its nature, this command is better off hidden.

## Menu list area

Except from a `write` statement which indicates the current JHSEPN version, no changes were necessary.

## The command fields

Because the JHSEPN must read both EPN and EPOS formats, we have opted to use the flag `iquest` for the program to call the related subroutines. It is of course user-defined and by using a simple `if` statement when appropriate, the program virtually deviates the older EPOS routines and activates the EPN code flow. The user assigns a value to `iquest`, as soon as the `file` command is chosen. Unless there is a second file selection, the `iquest` flag retains its previous value for the following steps. This flag is widely used throughout the main program, while particular subroutines, which are needed for both formats, implement it as well.

Many of the changes that were made, so that JHSPULS can read EPN files, are based on a statement of the form:

```
if (iquest.eq.1) then
  (procedure 1)
else
  (procedure 2)
endif
```

We might as well refer to this form as the “EPN selection scheme”. Generally, the *procedure 1* is related to EPN algorithms and subroutines, while the *procedure 2* contains the old EPOS routines. This is of course a convention that we use for the distinction between the old and the new code. The reasoning behind the additions to the EPN main menu commands and their exact position in the code is described in detail by the following paragraphs.

### Print header (`print`)

Before the EPN additions, this command was used to call only the subroutine `prhead`, which displays the header of EPOS records. By using an EPN selection scheme, it is now easy to select whether EPN or EPOS header is displayed. Consequently, setting `iquest=1` calls the subroutine `epnhead`, while for any other value of `iquest` the subroutine `prhead` is called.

```
if (iquest.eq.1) then
  call epnhead(filename, lun, recno)
else
  call prhead(ptr)
end if
```

#### Show contents (records) of file (show)

This command displays information about the records in an EPOS or EPN file. For EPOS, the `getbl` subroutine is needed to extract this information, while for EPN records `getEPN` is used. Once more, the choice between the EPOS and EPN is carried out by the selection scheme.

```
if (iquest.eq.1) then
  kptr1=int(float(ptr))
  call getEPN(inpo, kptr1)
else
  call getbl(inpo, ptr)
endif
```

#### Read (and add) records (read)

The particular command produces integrated records. Obviously there is a different procedure for EPOS and EPN records. Hence in comparison to the other commands, this one is a bit more changed.

At first, there is a check added which prevents the user to read more records than the file has. This check is valid only for EPN files and the subroutine which calculates the number of records in a file is `nepnrec`.

```
if (last.gt.nepnrec(filename)) goto 8888
8888 write(*,*) 'The file contains fewer records!'
```

The next change refers to both formats and it concerns the number of sets of channels a record can have. Previous versions of the application could not read anything else but the first quartet of channels. This is corrected in `readepn` and now the user may select any quartet among the available ones.

```
write(*,*) 'There are ',mynpol/4,' sets'
write(*,*) 'Which set would you like to read?'
read(*,*) mynpol
write(*,*) ' You have entered: ',mynpol
```

In the following lines, there is twice the need for reading data and so every previous calling of `getbl` has been substituted with the familiar EPN selection scheme. However, in the first case the *procedure 1* does not only call the `getEPN` routine, but also the permission subroutine which checks for source changes.

```
if (iquest.eq.1) then
  kptr1=int(float(ptr))
  call permission(grant,lun,kptr1)
  if (grant) then
    call getEPN(inpo, kptr1)
  else
    write(*,*) 'You have changed source!'
  close(unit=lun)
```

```
goto 110
endif
else
  call getbl(inpo, ptr)
endif
```

#### Read a whole scan (scan)

As the name of this command implies, it is used for reading and adding the records of a single SCAN. The modifications to the command code were minor, as the only part which needed modification is the calling of the subroutine `getbl`. Therefore, where found necessary, a substitution of `getbl` with the selection scheme for EPN or EPOS reading has been made.

#### Save EPN variables (sepn)

This hidden option offers the possibility of practically altering nearly every value of the header parameters. The associated code was written from scratch and it is obviously working only for EPN files. Should the user select such a command, he must be very careful, as the EPN file could be destroyed.

Under this command, the main program provides a list of sets of all the header and some of the sub-header parameters by using `write` statements. Then it expects a numerical input, which corresponds to the selected set of parameters. This is done simply by reading the integer `iset`, which is passed down to the `wepn` subroutine. The `wepn` subroutine contains all the necessary `read/write` statements. There are no undos as for now, so be careful!

#### Select a new file (file)

Selection and opening of files is done using this command. Initially, when only EPOS files could be read, the command would just call the subroutine `oldfile` and the EPOS file would be opened. Nevertheless, the EPN additions require that the user must select the file format to be processed. This selection is accomplished by requesting from the user to assign a value to the flag `irequest`. After this is done, the value of `irequest` is stored in the `epnhdr.inc` and whenever the latter is included into a subroutine or into the main program, the code takes it into account and follows the necessary steps.

If `irequest` is equal to 1, the program requests the filename and calls the subroutine `openepn` to open the file. In any other case, the program will call the older `oldfile` subroutine.

## **Modifications to the old subroutines**

Beside the main program, the standard subroutines have been modified too. A common addition to most of them is the inclusion of `epnhdr.inc` and therefore the declaration of the EPN header variables. Generally, this is done in order to pass down the `irequest` flag to all the involving subroutines.

Another major change is the substitution of the statement `call getbl` with the scheme

```
if (iquest.eq.1) then
  kptr1=int(float(ptr))
  call getEPN(inpo, kptr1)
else
  call getbl(inpo, ptr)
endif
```

which, as we have explained, allows the EPN or EPOS selection. This is done for the subroutines `multiple_pulse` (file `multiple.f`) and `prepqual` (file `jhsapn.f`).

There is also a modification of the subroutine `infoline`, which prints a short information line for every record. Using `iquest`, this subroutine avoids calling the subroutine `PSRname`, which is valid only for EPOS files and formats the information according to the EPN standard.

## **The statistical analysis**

One of the most powerful features of JHSPULS, is the ability to perform a complete data analysis. The original version of the program could process and perform statistical analysis only for the EPOS format, by means of an additional subroutine called `pulstat.f`\*. Furthermore, the modified version, JHSEPN, can also process and analyze EPN data files. This capability allows for more sophisticated analysis, as for example the simultaneous study of observations of a single pulsar at two or more different frequencies.

In the following sections, JHSEPN capabilities for statistical analysis are presented. A detailed description of the statistical parameters can be found in [3], although there are references farther below in this document, too. The analysis will be applied in an EPN data set in order to demonstrate the capabilities of the EPN format.

---

\* In fact, the program which can perform the statistical analysis is called JHSTAT and it is an extension of the original code of JHSPULS.

## ***The statistics package***

It is the periodicity of the pulsar emission that leads to statistical methods of research. The time-varying properties and their distributions, are the most suitable tools for interpreting a pulsar profile.

JHSEPN provides the necessary commands to perform statistical analysis. More specifically, in order to access the relevant features, the (*stat*) command has to be entered in the main menu. Once this is done, a new menu is shown called ‘statistics’, where various commands are available, such as moment setting, baseline limits, channel selection, etc. The most significant are the number of records to be read and the limits for both the sub-pulses (components) and for the whole pulse window (ON pulse window). It’s not always easy to estimate those limits, but the integrity of the result depends on how well all the pulses are aligned with each other. This can be demonstrated with the (*sequ*) command in the main menu, which plots a sequence of successive pulses in the same diagram. It should be made clear that all the pulses must be integrated before the statistical calculations, in order to obtain a smooth profile that will help us to determine the rough limits of the sub-pulses and these of the whole pulse window.

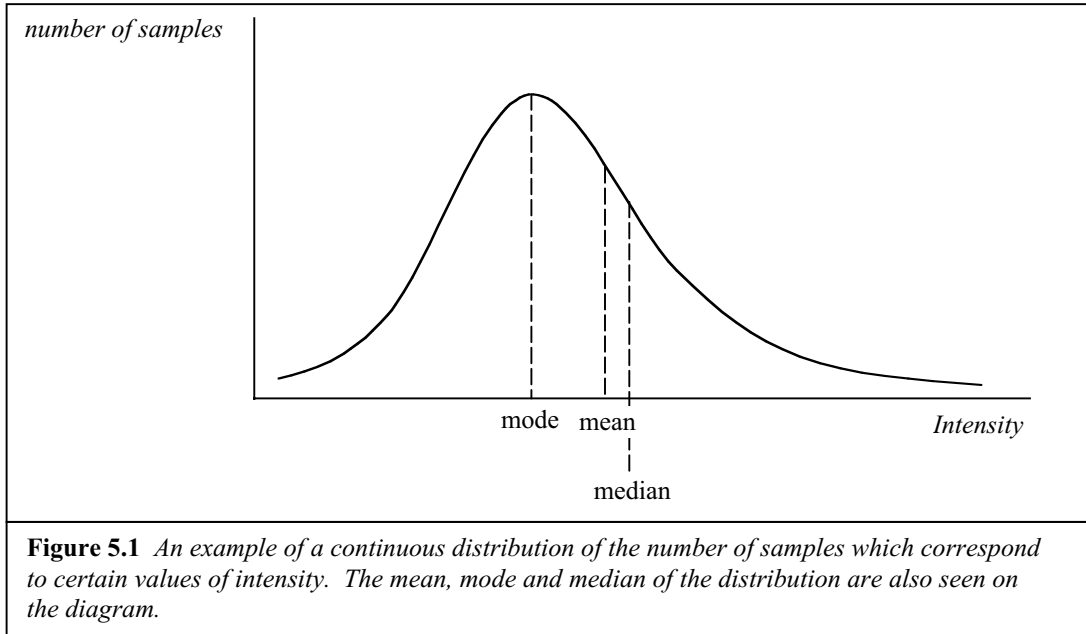
After setting all the parameters, the calculations are initialized by the command (*start*). The algorithm then runs through all the records and calculates the four statistical moments, i.e. *mean*, *sigma*, *skewness*, *kurtosis*, for each component and for the ON pulse. In order to know the magnitude of the noise that comes with the ON signal, the calculations are performed for a selected noise area as well (OFF pulse window). Those four statistical moments, are proved to be adequate for investigating the pulsar’s properties.

### ***Single pulse intensity distribution***

The intensity of a pulse changes with time within the selected region (ON window). Every value of intensity corresponds to a short period of time, called bin, and these intensity values can be subjected to a statistical analysis. A bin holds a measurement of the intensity that lasts a fraction of a millisecond. All statistical moments are calculated over the distribution of the intensity values. These values can be used to construct a histogram, i.e. a plot of the number of times an intensity value appears versus the corresponding intensity value (see Fig.5.1). The maximum value of this histogram is the most frequent intensity value appearing within the pulse window and it is called *mode* of the distribution. Another useful term for a distribution is the median, which represents the geometric mean of all the intensity values.

In the study of the pulsar emission, certain statistical parameters play central role. A brief description of the four most important statistical moments is given below.





## Mean

*Description:* It represents the average value in a distribution of numbers:

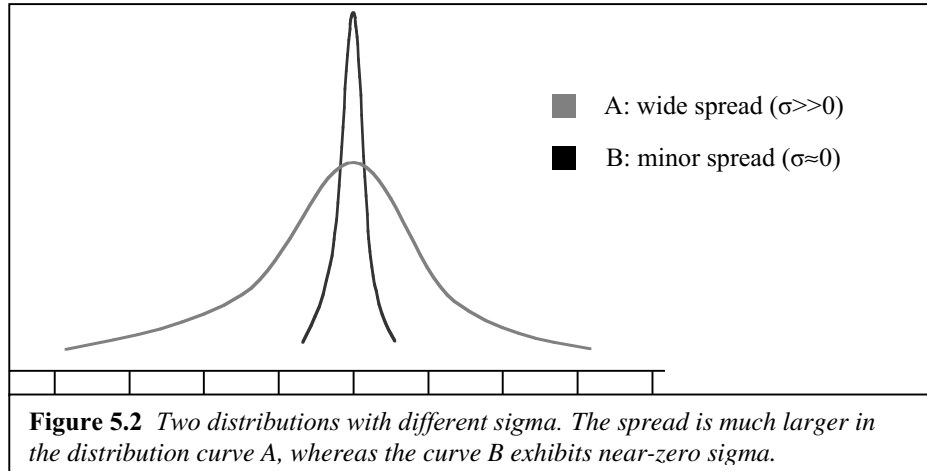
The mean value in a distribution is not necessarily the most frequent, especially if the distribution curve is skewed.

*Physics:* The mean intensity of a sequence of pulses may change with time. The most striking characteristic in a mean-time diagram of many successive pulses, is mode changing. Sudden reductions of the mean energy along this diagram indicate that the pulsar is emitting in two different ways. The less energetic mode is called Q-mode (quiet mode) while the other one is called burst mode. However, mean energy variations can occur in general, when the signal becomes weak for various reasons. So, a safe conclusion can only be obtained after careful study of the higher order moments.

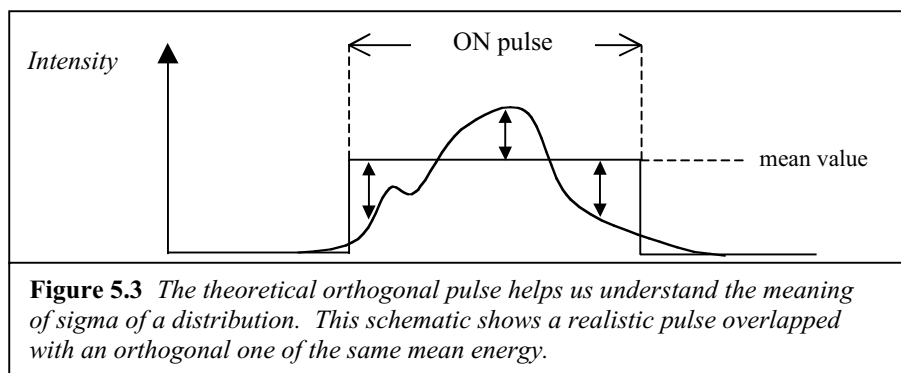
## Sigma

$$\sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

*Description:* It shows the degree of dispersion of the values, around the mean. A large sigma indicates a wide spreading of the values, while  $\sigma = 0$  means that all the values are equal. For example, in Figure 5.2, notice that it is not the sharpness of the curve that matters (we could easily draw a more flat curve B), rather than the significant number of intensity values far from the mean.



*Physics:* Pulsars display strong intensity fluctuations during their emission, even within the ON pulse window alone. Therefore, it is normal for a pulse profile to correspond to an intensity distribution with considerable sigma. However, relatively large sigma values could mean that the emission is erratic, whereas  $\sigma = 0$  corresponds to no signal at all or to orthogonal pulses. An orthogonal pulse is a totally theoretical case. However it can be very helpful in understanding the meaning of the statistical components. Figure 5.3 shows a realistic pulse against an orthogonal one. The orthogonal has the same mean energy as the realistic pulse and represents an imaginary pulsar with constant energy flux. It is obvious that only a very small percentage of intensities of the real pulse, are equal to the mean value and thus sigma is non-zero.

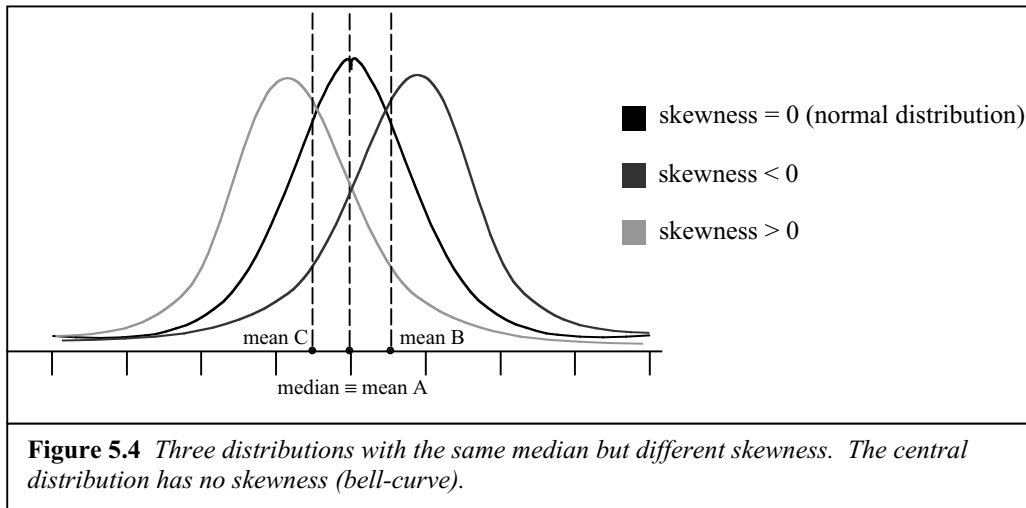


**Skewness** 
$$\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left( \frac{x_j - \bar{x}}{s} \right)^3$$

*Description:* Indicates the amount of asymmetry in a distribution with respect to the mean value. A normal distribution bell-curve is perfectly symmetric around its mean

and so its skewness is zero<sup>\*</sup>. If this is not the case, there is a possibility that the right side of the curve is steeper than the left; then skewness is negative. In the opposite case, skewness is positive. A common property of all skewed distributions, is that the mean value is not equal to the median. If the median is less than the mean, then the curve is negatively skewed. Otherwise the distribution has positive skewness.

Those three cases are shown in Figure 5.4. Notice that all three distributions have the same median.

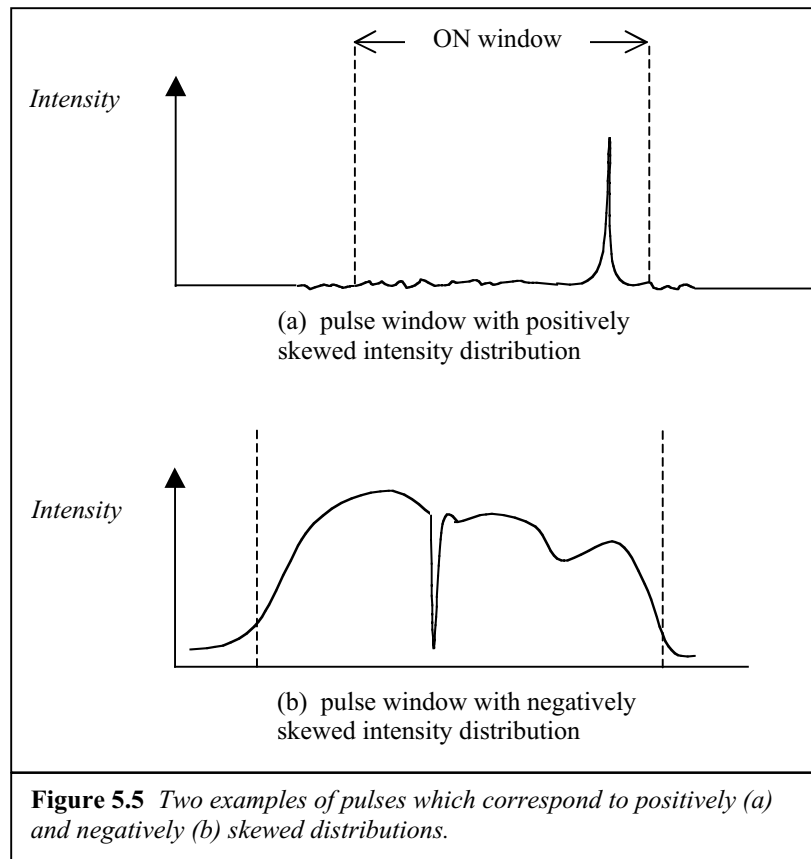


*Physics:* Generally, skewed distributions are the result of intensity values, which appear occasionally within a pulse and away from the mode value. For example, if the selected window, for the ON pulse or the component, is very large compared to the signal, unnecessary noise will be included. These noise values appear in the distribution more frequently than the values coming from the signal and result in positive skewness for the curve (see Figure 5.5a).

Although somewhat rare, negative skewness can also be observed when relatively smooth pulses undergo abrupt reductions of their intensity for a few bins. This might be for instance, an indication of quiet regions within the emission cone.

It should be noted that since skewness is a measure of asymmetry, what really matters is how many occurrences appear most frequently within the pulse window. Therefore, a «restless» profile with many peaks above and below the mean intensity, does not necessarily to have a skewed intensity distribution, as they both could appear with the same frequency.

<sup>\*</sup> The same applies for the mode, because they are identical in this case.



### Kurtosis

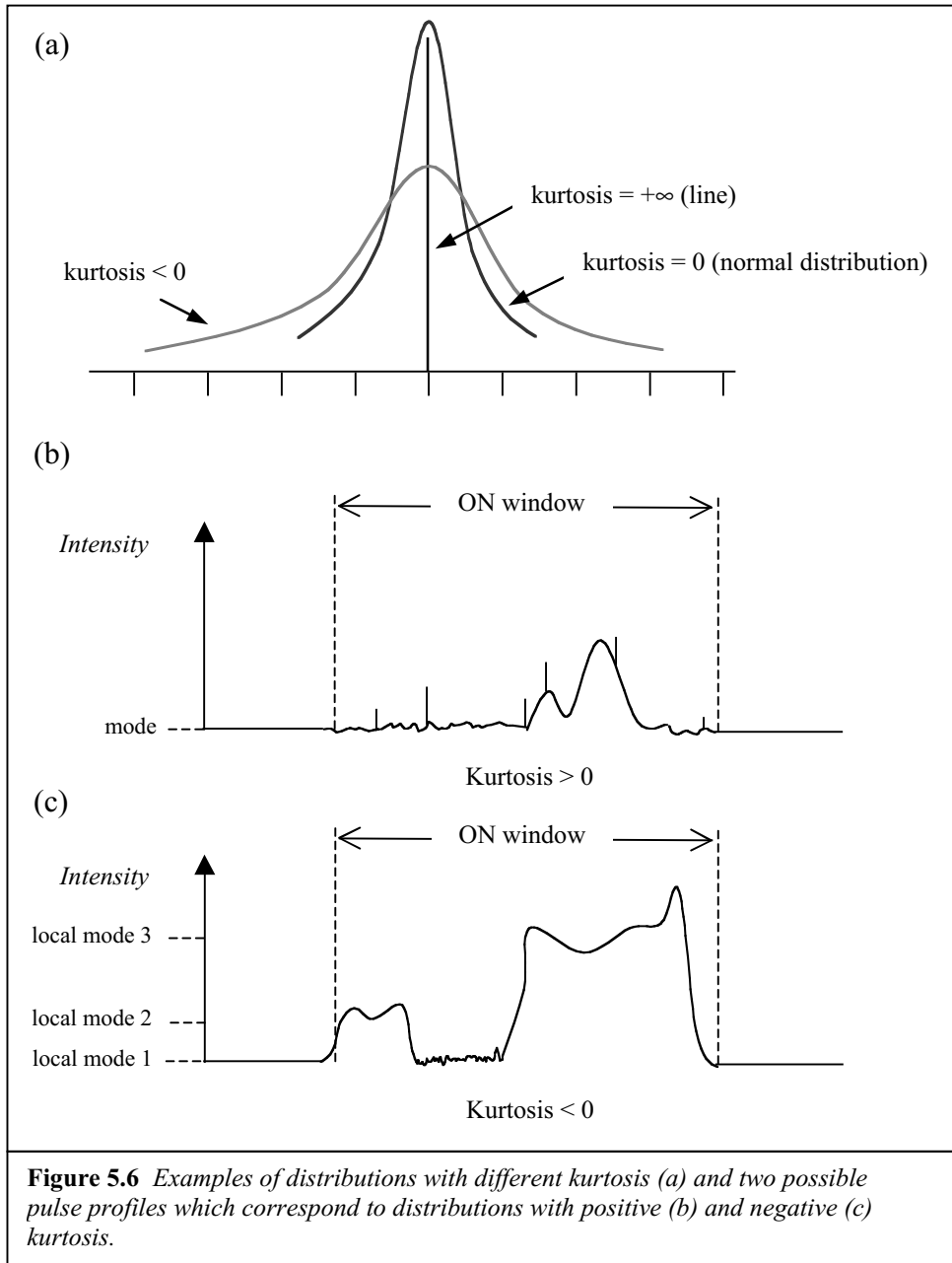
$$\left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left( \frac{x_j - \bar{x}}{s} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

*Description:* A measure of the relative steepness of a distribution compared to the normal distribution. Sharp peaked distributions fall quickly around their mode and have kurtosis greater than 0, while smoother peaks have less. The normal distribution is defined as the one with *kurtosis* = 0.

*Physics:* The meaning of large kurtosis in an intensity distribution, is that measurements of less frequent values disappear very quickly as we move far from the mode. As a result, the pulse profile is dominated by samples nearly of the same intensity, although spikes could also exist as long as their intensities are randomly distributed (see Figure 5.6b). Extended noise in the ON pulse window (e.g. when many components have faded out) can also account for large values of kurtosis as well as for large skewness.

Small or even negative kurtosis implies that the profile is composed of flat and long sub-pulses with various intensities. For instance, if half of the ON pulse window is

noise and the other half is composed of pulses with similar intensity, the intensity distribution will peak at both values (zero due to the noise and a higher value due to the pulses) and so it will be flat. Of course, both cases are relative to the normal distribution, which is the model that fits best a random distribution of intensities.



As soon as all the statistical calculations are finished, the program asks whether to plot statistics or not. If the answer is positive, a new menu, labeled 'Plot Statistics', is shown. The purpose of this menu is to finalize the analysis procedure by plotting two kinds of statistical graphs. The first kind corresponds to the time varying analysis, and the other one to the stationary analysis. In both cases, two parameters need to be set; those are the *component* and the *statistical moment* we'd like to plot. A complete analysis should take into account all four moments for every component, including the ON pulse.

### ***Time-series plots***

This type of graphs presents the change of a statistical moment with time. This is done by calculating this moment for every pulse in the specified by the requested number of records. Then, the program places the calculated values on a *moment-pulse number* diagram and constructs a continuous plot by connecting the points with lines. Since every pulse lasts a specific period of time, this diagram is considered as a *moment-time* plot.

The plotting window in a time-series plot, contains two graphs. On the upper graph the ON pulse's or component's statistical values are drawn, whereas the lower graph shows the change of the corresponding moment for the noise. In addition, there are various information regarding the plot. Two of the most useful parameters shown, are the minimum and maximum value of the statistic moment in the diagram. These numbers help to determine a rough boundary for the following histograms.

Time plots are the most useful for a pulsar statistical analysis, because they refer to certain properties of the pulsars, like the energy flux, which change with time. This helps the astronomers to detect natural phenomena on a pulsar, like pulse drifting or nulling.

### ***Histograms***

The stationary analysis consists of histograms of statistical moment distributions. More specifically, the pulses' moment values are drawn on the horizontal axis and the number of occurrences on the vertical axis. For each value of the statistical moment, the program plots a transverse bar with height equal to the number of pulses having roughly the same value and width equal to the range of this approximation (i.e. the *step*). This is done for all the components, for both the ON and all the OFF windows.

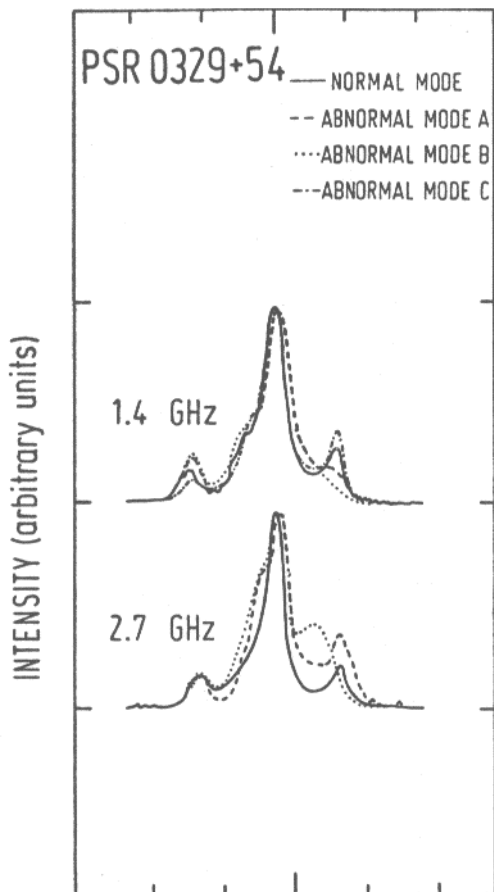
When plotting a histogram, it is crucial to set the axis' limits beforehand. The moment axis (horizontal), usually ranges from the minimum value taken from the time-series graphs, to the maximum one. This is a first approach of those limits and it is modified later according to the broader distribution. One can set those limits using the *limit* command in the *statistics plot* menu. It allows the user to provide individual boundaries for each moment graph separately as well as the step between successive bars. On the other hand, the pulses axis' range (vertical) can be set by the *factor* command. To make a reliable comparison between histograms which represent the same moment but different component, a suitable common factor is used. This factor comes from the highest distribution, so that every other will fit into the plotting window. Together with the moment's limits, the plot factor constructs a set of parameters that will fit all the histograms referring to each statistical moment. After deciding for the above, the plotting

begins with the *histog* command.

Histograms provide a method for reviewing the most probable values of the pulsar's statistics. Furthermore, they confirm the conclusions drawn by the study of time plots. For example, an erratic emission from a pulsar will show fluctuations in an energy-time plot and this will be verified by the mean energy histogram which is expected to peak near zero. Inversely, a peak near zero value could mean that there is a significant percentage of null pulses apart from the typical ones, but this can also be verified by looking at the respective time plot which will show sudden drops of the energy.

### ***A multi-frequency simultaneous analysis: PSR B0329+54***

#### **Previous work**



The pulsar PSR B0329+54 is one of the brightest pulsars available for observation. Previous study of its pulse properties has shown that this pulsar exhibits obvious mode changing phenomena but no significant sub-pulse drifting or nulling. Especially at 1.4 and 2.7 GHz, to which the available data refers, this pulsar emits in three different abnormal modes. It is classified as a “wide-triple” which means that its integrated profile displays three well resolved peaks. These peaks correspond to the conal (side peaks) and the core emission (central peak) in agreement with the hollow cone model. The core component is nearly four times as intense as the conal components. The profile type is quite recognizable at 1.4 and 2.7 GHz, but the conal components seem to fade out when moving to higher or lower frequencies.

The outer components are rather symmetric around the central one, but this is the case only for the normal mode. The abnormal mode shows an asymmetry at frequencies of 5 GHz and above. Moreover, Arecibo polarimetric observations indicate a slight change in the PA

(polarization angle) configuration between normal and abnormal modes, which supports the idea that the orientation of the magnetic axis, relatively to the line of sight, is altered during the mode-changing.

Although the PSR B0329+54 is believed to have a well resolved triple profile, at

frequencies below 2 GHz, two more components emerge between the central and the outer components. According to J.Rankin (1983), these two ‘bridge’ components are the result of absorption and propagation effects because of the magnetosphere of the star. The following analysis takes into account these ‘bridge’ components only for the Lovell data (1.41 GHz), since they don’t appear in the 2.69 GHz observation with the RT-100.

## **The data**

The data for the analysis was available at Effelsberg observatory’s database in Bonn, Germany. However, only half of the data recorded came from Effelsberg’s RT-100, as the rest was recorded in Jodrell Bank observatory in Manchester, England. Both observations were written in a single EPN file which contains a total of 1892 pulses of the pulsar PSR B0329+54, shared into 1892 records (i.e. `nint=1`). Every record contains eight channels (i.e. `npol=8`); four for each observation. The Effelsberg observation was conducted at 2.69 GHz, whereas the Lovell observation at 1.41 GHz. A fairly adequate resolution (700  $\mu$ sec) and the very good alignment of the data, allowed a good definition of the components.

No calibration signal was included in either of the observations and there hasn’t been any addition of channels before any calculation, because the first channel of every record already contains the information for the total intensity. The entire analysis is solely based on that channel, and so, the rest of the channels are not studied.

## **The data sets**

By integrating all pulses the ‘wide-triple’ profile of this pulsar is verified. However, the Lovell observation at 1.41 GHz, reveals the so called bridge components II and IV, located between the three major ones. On the other hand, the Effelsberg data do not show a five-component profile, but confirms the triple one (see page 67). It is strongly believed that the first bridge component merges with the central component. It might also be possible that the second bridge component merges with the last conal component.

The statistical calculations which are performed for the ON pulse and components windows at both frequencies, are presented in detail in the following pages:

### ***Lovell data set (1.41 GHz)***

In the stationary analysis, the histogram of the mean intensity distribution of the ON pulse window for the Lovell data channel, peaks around 0.8 which is very close to the mean intensity (see page 85)\*. This means that the null pulses, if any, are rare. Furthermore, the dispersion of the intensities around the mean is rather small, which can be explained by a somewhat uniform emission. This distribution is skewed positively, which could account for some energetic pulses and thus, an indication that all three components might be flaring simultaneously. In the same histogram, the noise is very balanced with respect to zero, which makes our data even more reliable regarding the intensities.

---

\* All the distributions referring to the mean intensity of the pulses, whether it’s for a component or for the ON window, are normalized with mean values equal to 1.00.



The sigma values corresponding to individual pulses of the ON pulse window are exceptionally high and uniformly distributed ranging from 1500 to 3250 with no more than 8 pulses having the same sigma. Such high sigma values indicate that each pulse could have a large deviation from its mean intensity. This could be explained by restless pulse profiles and therefore great fluctuations within the ON windows. A possible explanation of this phenomenon, which is verified by the values of skewness, is the frequent nulling of sub-pulses; when many of the components are present there is a relatively small difference between the mean intensity and each bin's intensity, whereas a missing component results in a larger dispersion of the bin intensities.

The skewness has a positive value (1.7), which is consistent to frequent sub-pulse nulling. Since the intensity of the core component is greater than that of the conal components, the positive values of skewness are assumed to be a result of conal sub-pulse nulling rather than core nulling. However, the skewness histogram is flat in the region from 1 to 2.5 with value of 100 approximately and therefore not only sub-pulse nulling but also sub-pulse intensity reduction can account for such values of skewness. These intensity variations cannot be easily observed in time-series diagrams of the components, due to the large number of pulses and the non-periodicity of the phenomenon.

The ON pulse window's kurtosis distribution values vary remarkably from -1.5 to 15 (!). So, it is clear that the mean value of the kurtosis does not have much integrity in this case, since the values are scattered uniformly all over the above range. Although the most frequent value is close to zero, the majority of pulses have positive kurtosis which partly supports the assumption of sub-pulse nulling or fading.

The next step is to study the diagrams which correspond to the individual components. Many of the conclusions are based on the conal-core model, recently introduced by Lyne & Manchester (1988). The bridge components II and IV in the Lovell data, will be treated as side effects due to absorption, in agreement with Rankin's assumption (1983).

The conal component I exhibits many low intensity pulses with large sigma and positive skewness, as it follows from the mean intensity distribution (page 86). There is also a significant percentage of nulling (~10%), evident from the many quiet periods and sudden spikes displayed in the mean-time diagram. This confirms the hypothesis of frequent sub-pulse nulling. Above the mean intensity there are a lot of pulses spread over various intensities, meaning that this component is flaring erratically half the time.

Compared to the total pulse, the component I shows a smooth profile, since the standard deviation of intensities within the sub-window is relatively low (around 500 for most pulses). This is also supported by the fact that skewness and kurtosis have zero and negative values respectively. The small negative kurtosis characterizes a profile smoother than that of the normal distribution.

The picture is more or less the same for the other major cone component (V). The only difference is that this component disappears less frequently and the emission is more stable for higher energies (i.e. when it's flaring).

The central core component III is the most prominent and consequently its fluctuations with time are certainly affecting the total pulse intensity more than the other components do. Although there is a similarity between the sigma histogram of the ON-window and that of the core component (page 88), which indicates a connection between their fluctuation, the time graphs do not show any further resemblance, since the component's time plot of the mean intensity contains inversed peaks whereas the corresponding ON

diagram doesn't. This means that the core component undergoes sudden reductions of its mean intensity which are not reflected on the total pulse energy. An explanation for this result could be that, in many pulses, the signal exceeds the sub-window's width and so, some of the component's energy is neglected. This is particularly true for the core component III, which is overlapping with the bridge component II, making it impossible to use an appropriate sub-window that contains only a single component.

The histogram of the mean intensity of the core component is peaked with a short tail towards the low intensities. Most sub-pulses have nearly the same energy, but a substantial number of them corresponds to quiet core emission. Furthermore, large values of sigma and many negative values of kurtosis indicate a multi-plateau profile, i.e. sections of flat emission.

As mentioned before, the bridge components II and IV are located very close to the other components, which makes the statistical analysis of those components less accurate. The calculated moments for these components do not necessarily reflect their morphology or even the intensity, because the sub-window contains part of the neighboring component. The histograms of the mean energy show erratic emission for both components and many low energy pulses. The sigma histogram of the sub-pulses reveals smooth pulse profiles and the skewness histogram doesn't show any modulation such as drifting. Kurtosis histograms, shown in pages 87 and 89, support these conclusions (mean kurtosis is about -1.5 for both components).

Finally, it is interesting to check if there is a correlation between the energy of the core component and that of the bridge component. Such a correlation is not evident in the time diagrams, probably because of scintillation effects. However, a quiet period for the bridge component around the 1500 pulse, takes place simultaneously with a reduction of the core's emission, an effect which along with a few other occurrences, might be a confirmation of Rankin's thought for the mechanism that produces those bridge components.

### ***Effelsberg data set (2.69 GHz)***

At 2.69 GHz the signal-to-noise ratio was far larger than at 1.41 GHz, probably due to better directivity of the RT-100. The histogram of the mean intensity, of the ON window, has a narrow peak (page 91). The short tail of the histogram, extending to the high values, is because of either a few energetic components or a simultaneous flaring of all the components. The small, but clearly positively skewed distribution, reveals a uniform emission with a small number of intense pulses within the ON window. However, the pulses themselves are fluctuating intensively as shown in the sigma histogram. Furthermore, the majority of pulses are positively skewed (only a 12% of is below skewness = 1) which means that not all the components are flaring simultaneously. The kurtosis distribution is flat, ranging from -1 to 8, with many pulses having positive values, in agreement with the previous conclusion that the components do not flare simultaneously. The negative values of kurtosis, correspond to single pulses which extend to the full width of the ON window, meaning that all their components are active.

The time analysis of the ON pulse window did not show any obvious periodicities concerning the mean intensity (page 69). It is well known, that the 2.69 GHz pulse profile exhibits three quite different shapes, known as its three modes (One normal and

two abnormal modes). Contrary to the 1.41 GHz profile, those three modes correspond to significantly different total energy which should appear in the time plots. An explanation of this could be that the mode-changing takes place randomly and it is short-lived. Nevertheless, judging by the shape of the different modes, this phenomenon may be detected by looking at the components behavior as a function of time.

Among the three components, the first one has the most erratic emission. This can be seen in the time diagram which contains not only many energy bursts, but also many low energy values (page 73). In addition to that, the mean intensity histogram demonstrates a wide range of values (from 0 to 6) and positive skewness, in agreement with the previous conclusion. As shown in the same histogram, nulling of this component is rare (~2%). One remarkable fact is the resemblance between the mean and the sigma time patterns. When the component bursts, the sub-pulses seem to become restless. On the other hand, the quiet sections of the mean diagram are accompanied by low sigma values meaning that the sub-pulses are smooth. This is reasonable, since low-energy emission is a somewhat «calm» emission. The mean value of sigma however is the lowest amongst the components and together with the negative values of kurtosis, indicate that many of the sub-pulses are unruffled.

The other cone component (III) shows more or less the same behavior with the first one, with the difference that the emission is slightly more uniform, almost continuous and without nulls.

Finally, the most intense component is again the core component. Its intensity does not vary much with time, but the sub-pulses within the central sub-window exhibit intense fluctuations, as shown in the mean and sigma histograms (page 93). The emission is steady and uniform and nulling does not occur. Contrary to the other components, the correlation between the sigma and mean time-series plots is not so strong, although some low-intensity pulses are accompanied by low-sigma values. It is obvious from the sigma time diagram, that there are many occasional inversed peaks (page 77). This shows no periodicity, but it might be an indication of mode-changing which is known to be present for this particular pulsar.

The skewness distribution contains many positive values above the mean, which is itself positive (~0.5). This is due to some extended sub-pulses which have forced us to select a sub-window larger than usual, and therefore unnecessary noise has been included in many calculations. The origin of these extended sub-pulses is not clear, but they could be associated with the bridge components, which do not entirely merge with the core component at this frequency. This doesn't mean they do not exist, since there is a possibility that they are merged with the core component and cannot be distinguished in the integrated profile. However, a single pulse may occasionally contain five distinct sub-pulses. These single pulses, added together, can make the integrated central region wider.

The form of the kurtosis distribution is not much different than that the other components. A peaked kurtosis distribution with a negative mode reveals that the sub-window contains flat sub-pulses, which in this case, they are the core and the bridge component.

### *The comparison*

The interesting part of this analysis is that we can compare directly the time diagrams for the two frequencies. This wouldn't be possible without a de-disperser which eliminates the time gap between the arrival of the signals. As far as the mean intensity diagrams for the ON window are concerned (see page 69), there is a slight difference between the plot scales of the graphs, but generally we can recognize the same pattern for both frequencies. When there is an abrupt increase of energy in the Lovell observation, there is also one in the Effelsberg observation. All the other moments do not fluctuate in the same way for the two observations, except for the skewness, but the resemblance of corresponding histograms, for most of the moments, makes it difficult to believe that there is an entirely different emission mechanism associated with each frequency.

Referring to the components, the first one exhibits simultaneous variations of the mean intensity at both frequencies, but the other moments do not take the same values simultaneously, as expected. However, there are certain similarities between the time-series. The most obvious one, has to do with the sigma time diagram, which looks roughly the same for both frequencies (page 74). On the other hand, less substantial features like peaks along the kurtosis time-series, are also quite a common characteristic (page 75).

As mentioned at the beginning of this analysis, the bridge components II and IV of the Effelsberg observation probably merge with components II and III of the Lovell observation, respectively. More specifically, the time-series for the mean intensity of the component II at 2.69 GHz seems to have the characteristics of the corresponding graphs for component II and III at 1.41 GHz, merged together (see page 76). So, there is an inversely peaked pattern for component III at 1.41 GHz and a peaked pattern for component II at the same frequency. Furthermore, the time pattern for the component II at 2.69 GHz nearly resembles its counterpart at 1.41 GHz (component III). Its time pattern though is slightly richer in positive spikes (i.e. those above the mean) and there are certain pulse sequences whose energy fluctuates around the energy of the corresponding core component (i.e. component III at 1.41 GHz). Nevertheless, what was expected to fluctuate similarly in both frequencies -that is the energy of the core component- is actually not. This could be an indication of the influence of the first bridge component, included in the core component's sub-window at 2.69 GHz. In fact, it was difficult to avoid including this extra data into our calculations, because the integrated profile did not show any discrete bridge component.

Moreover, the histograms of the mean energy, show that even though there is a negative skewness in the distribution of the component III at 1.41 GHz, due to several inversed peaks, the corresponding histogram for the component II at 2.69 GHz is practically unskewed (pages 88 and 93). Taking into account the mean intensity distribution for the bridge component II at 1.41 GHz, shown in page 87, it is convenient to attribute this dissimilarity to a hidden bridge component with exactly the same properties as these of the component II of the Lovell observation. According to the histogram of this component, the positively skewed distribution contributed a number of energetic pulses to the distribution of the core component. As a result, the complex core component has a balanced energy distribution around the mean.

The sigma histograms did not show any strong evidence regarding the bridge component's existence within the integrated core component. The corresponding core

components at both frequencies (component III at 1.41GHz and component II at 2.69 GHz) display nearly identical sigma time-series and no sign of any interference from the bridge component is found (page 77). However, the relatively low sigma values for the bridge component at 1.41 GHz, give credit to this fact. This merged bridge component is therefore not capable of distorting the energy distribution very much.

Things get complicated for higher order moments, and it is not easy to reach to safe conclusions by examining the respective histograms. However, the uniformity of the kurtosis histograms at both frequencies throughout the core and conal components, is obvious. They all exhibit negative mean kurtosis and share binomial ‘Type I’ distributions<sup>\*</sup>. On the contrary, the bridge components II and IV at 1.41 GHz, have totally different distribution shapes. The distributions of the components II and IV are ‘Type II’ and ‘Type III’ respectively.

Finally, the last conal component (III) at 2.69 GHz shows no correlation with the corresponding component at 1.41 GHz (V), as far as the time plot is concerned, apart from one or two occurrences where the flux seems to have identical behavior with time (page 81). This dissimilarity could be explained by the fact that the third sub-window at 2.69 GHz includes information not only for the conal component, but for a part of the second bridge component, too. If this is the case, it is expected from the time plot of the component III at 2.69 GHz to fluctuate differently from its counterpart at 1.41 GHz, due to interference from the bridge component. Nevertheless, the time analysis for the mean intensity did not show any characteristics of the bridge component’s fluctuation in that diagram, as it happened for the central core component. The emission of the bridge component is more erratic than that of the conal component, with many random peaks throughout (page 84). That is why the mean histogram for that component is so spread out to a wide energy spectrum (from 0 to 5).

It should be mentioned that the corresponding conal components III and V at 2.69 and 1.41 GHz respectively, have similar binomial mean distributions (pages 90 and 94). The picture is the same for the rest of the histograms, and so, it is unlikely that the bridge component IV and the conal component V at 1.41 GHz are merged into a single one, at 2.69 GHz. Therefore, the difference in the time plots must be a result of scintillation or some other side-effect which produces a different time pattern for the energy of the pulses at each frequency.

---

\* Further information about the distribution types can be found in Diploma Thesis: *Statistical Moments of Pulsar Emission* [3].

## *Conclusions*

The study of PSR B0329+54 confirmed some of the previous work, but also revealed new information regarding the physics of the star. The fact that the data was available in EPN format made it possible to compare the successive pulses of the pulsar in two different frequencies with measurements being taken from simultaneous observations by separate telescopes.

The Effesberg data confirmed the well-known “wide triple” profile of the pulsar, whereas the Lovell data set revealed two extra components which are believed to form due to propagation effects through the magnetosphere. Strong evidence support their existence even at higher frequencies, but they seem to be located very close to the cone and conal components and are consequently undetectable in the integrated profile. More specifically, the second and third component appearing at 1.41 GHz might merge into one wide core component at 2.69 GHz, after the integration. One remark that should be noted though, concerns the bridge component which lies between the core and the last cone lobe, right on the saddle area. This bridge component is more isolated than the other one and cannot be considered as merged with neither of the surrounding components.

By examining the single pulses as a whole, the time series did not reveal the periodicities expected from a mode-changer such as PSR B0329+54. On the contrary, the histograms of the mean intensity showed a quite stable energy emission with time. As mentioned before, this is compatible with the mode-changing phenomenon, because the kind of modes this pulsar exhibits are more or less of the same energy. What is remarkable however, is the large sigma for both observations. The ON windows have sigma well above 2000 which is quite untypical even for a pulsar. Frequent sub-pulse nulling cannot account for such sigma values nor can the sub-pulse drifting phenomenon, which was not found to be a dominant characteristic of the pulsar’s emission.

The analysis have managed to correlate most of the components’ properties at each frequency, even for the first bridge component which was found to be merged with the core component at 2.69 GHz. Nonetheless, the mean time-series showed that the last cone component fluctuates differently at each frequency, but this is neither due to a multiple behavior, as in core emission, nor due to a different emission mechanism. Finally, apart from the mean intensity time-series, there are similarities between many of the rest of the diagrams and nearly all the corresponding histograms have the same properties at both frequencies.

In conclusion, PSR B0329+54 is a difficult pulsar to study with a simple statistical analysis. The time-series plots did not demonstrate clearly the expected phenomena, since they didn’t reveal a pattern that can be easily interpreted. On the other hand, the stationary analysis, expressed with histograms, was much more useful and compatible with the information extracted from the time-series plots. Both time and stationary analysis did not display any substantial differences between the two observations and so, the mechanism which produces the emission at each frequency must be the same.

## *Epilogue*

This is the first time that a simultaneous analysis has been conducted using the data taken from two different radio-telescopes. The key factor was the common data format used. It is possible to perform many similar analyses incorporating measurements from more telescopes. The data sets which will be constructed, can be easily written into a single EPN file ready for analysis. That way, the opportunity for a direct comparison between the various frequency bands, is given.

However, only the use of EPN format is not enough. For the processing of the astronomical data, software that can handle many possible aspects of an analysis, should be developed. JHSPULS' flexibility together with EPN's versatility, made that sophisticated analysis feasible. Hence, it's clear that the implementation of EPN reading has made it possible for the scientists to bring out new data regarding pulsar radio-astronomy, which were otherwise withheld by the fact that no other data reduction tool was able to perform such an analysis.

Nevertheless, a statistical analysis cannot totally interpret the underlying physics of the pulsar. It is well known for example, that the full description of a distribution would require the knowledge of infinite statistical moments, while the available ones were only four. Therefore, every result extracted from the EPN data was, at best, an approximation. Still, the combination of new techniques applied on the vast database of pulsar information is promising, and maybe the day that the pulsar structure is well understood is not far.

## *Acknowledgements*

*I would like to thank:*

My supervisor Prof. J.H. Seiradakis who guided me through this effort by giving me his valuable advices.

Marios Chatzikos, who has eagerly co-operated with me while working on his own thesis.

Aris Karastergiou of the Max Planck Institute in Bonn, who has provided us with valuable material regarding pulsar observations.

Tolis Karakoussis of the Informatics department and Dimitris Galanakis of the Physics Department, for their consultative help upon matters of programming and syntax, respectively.

Dipanjan Mitra whose previous work on the JHSPULS source code was more than a starting point to me.

*I would also like to thank:*

My parents for their support along this challenging task and my dear friend Nikos Kouidis for his ever-present help and support.



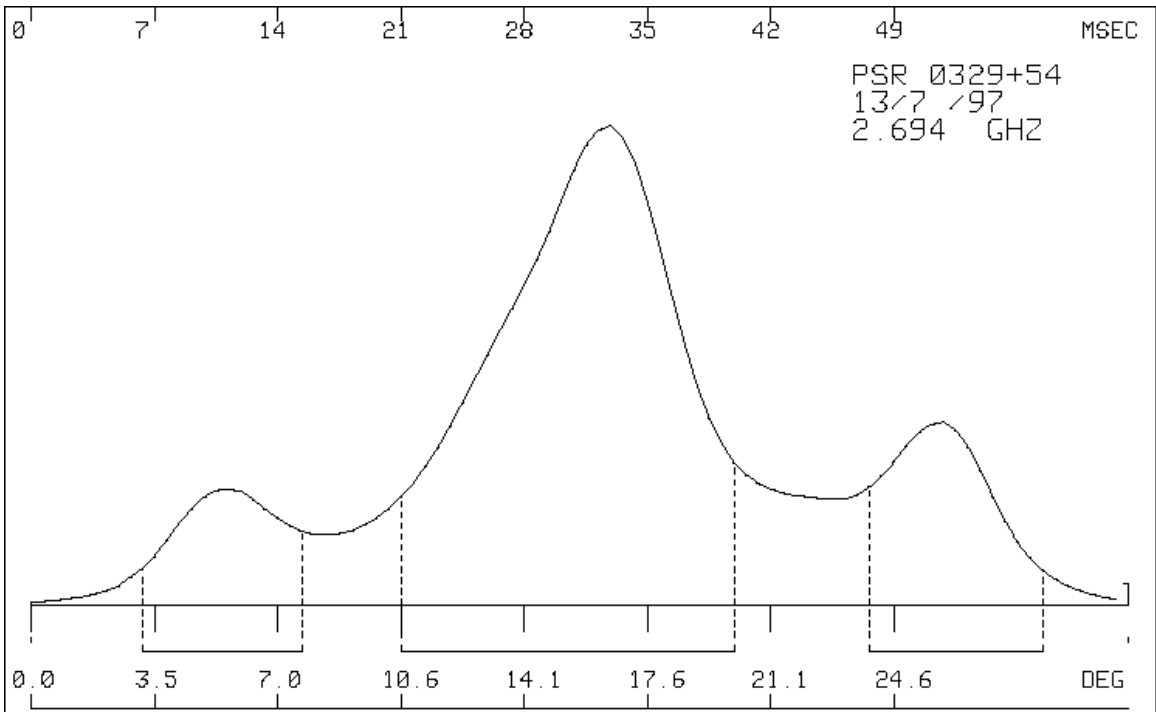
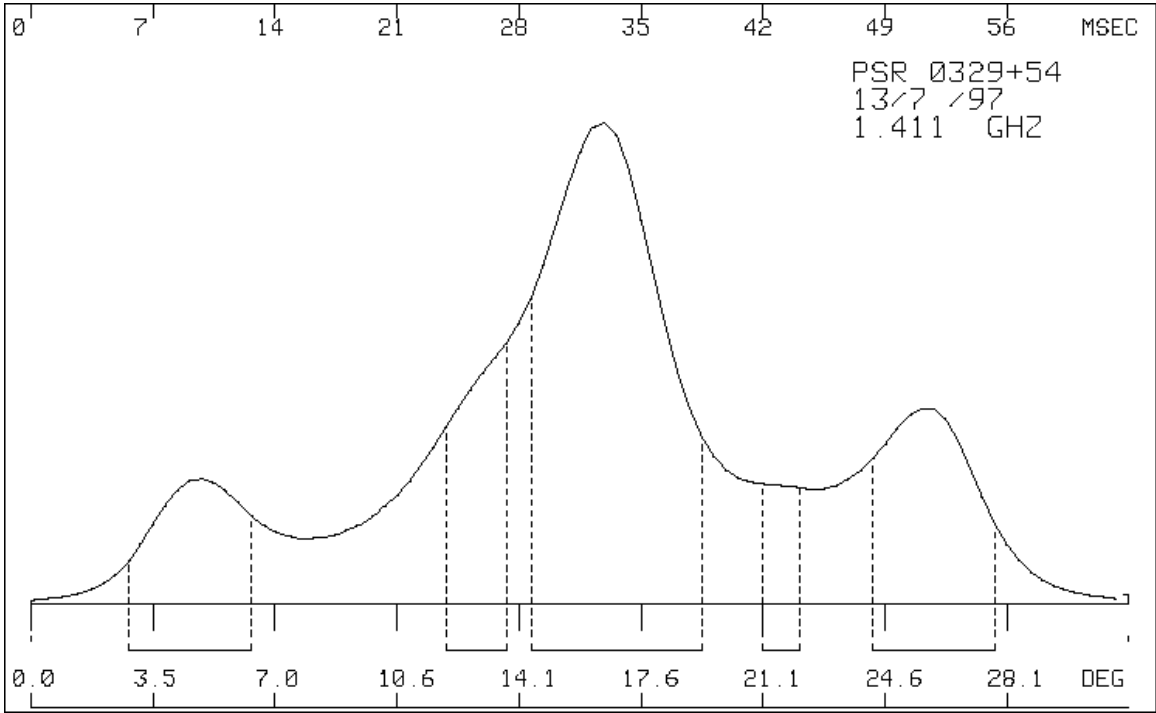
## ***Bibliography***

1. Σπύρου, Ν. (1995) *Αρχές Αστρικής Εξέλιξης*  
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
2. Σειραδάκης, Ι.Χ. (1996) *Σημειώσεις Ραδιοαστρονομίας*  
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
3. Τσακμάκη, Π. (1994) *Diploma Thesis: Statistical Moments of Pulsar Emission*  
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
4. Shu, F.H. (1982) *The Physical Universe: An Introduction to Astronomy*,  
University Science Books, Mill Valley, California.
5. Rankin J.M. (1984), Paper III, *Toward an Empirical Theory of Pulsar Emission: Mode Changing, Drifting Subpulses and Pulse nulling*  
Department of Physics, University of Vermont.
6. Rankin J.M. (1992), Paper VI, *Toward an Empirical Theory of Pulsar Emission: The Geometry of the Conal Emission Region, Appendix and Tables*  
Department of Physics, University of Vermont.

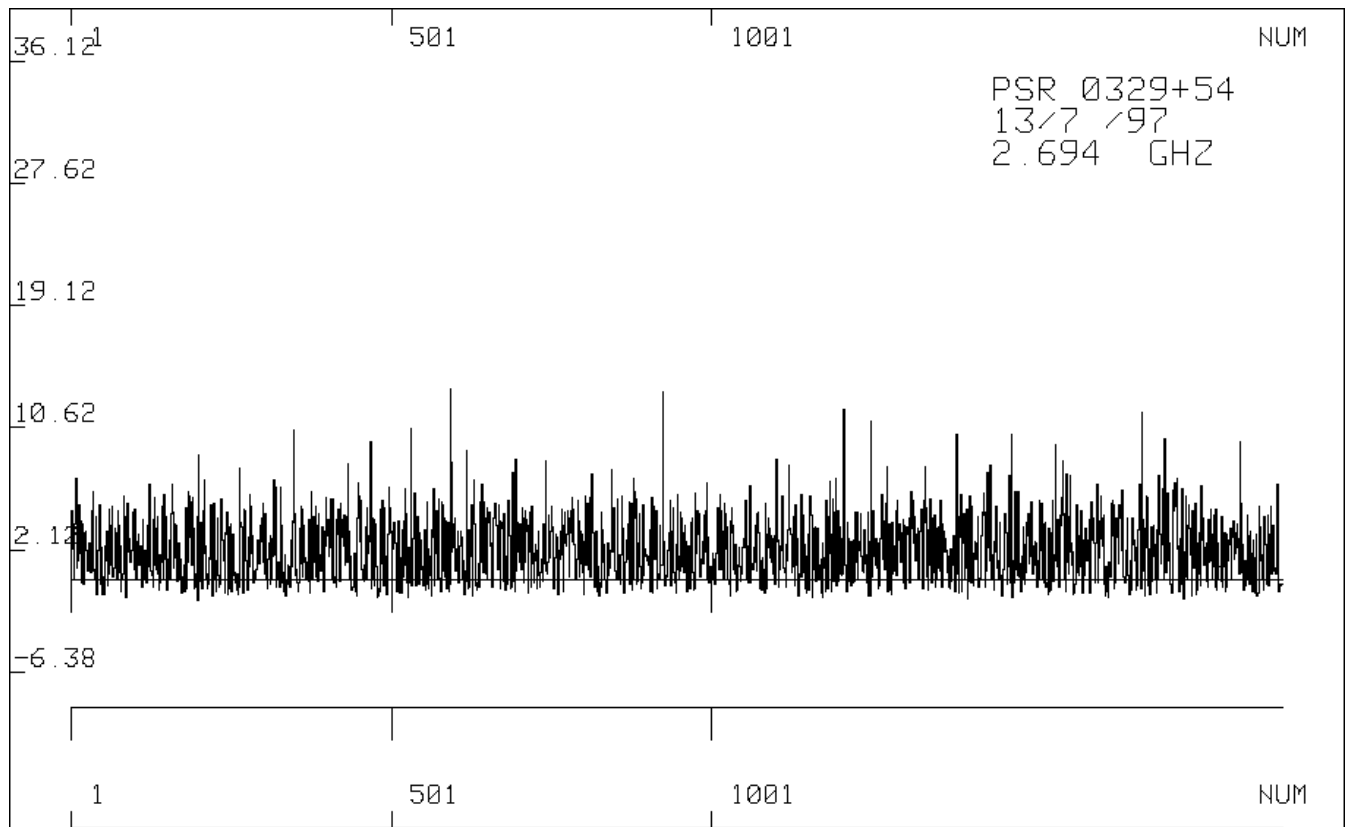
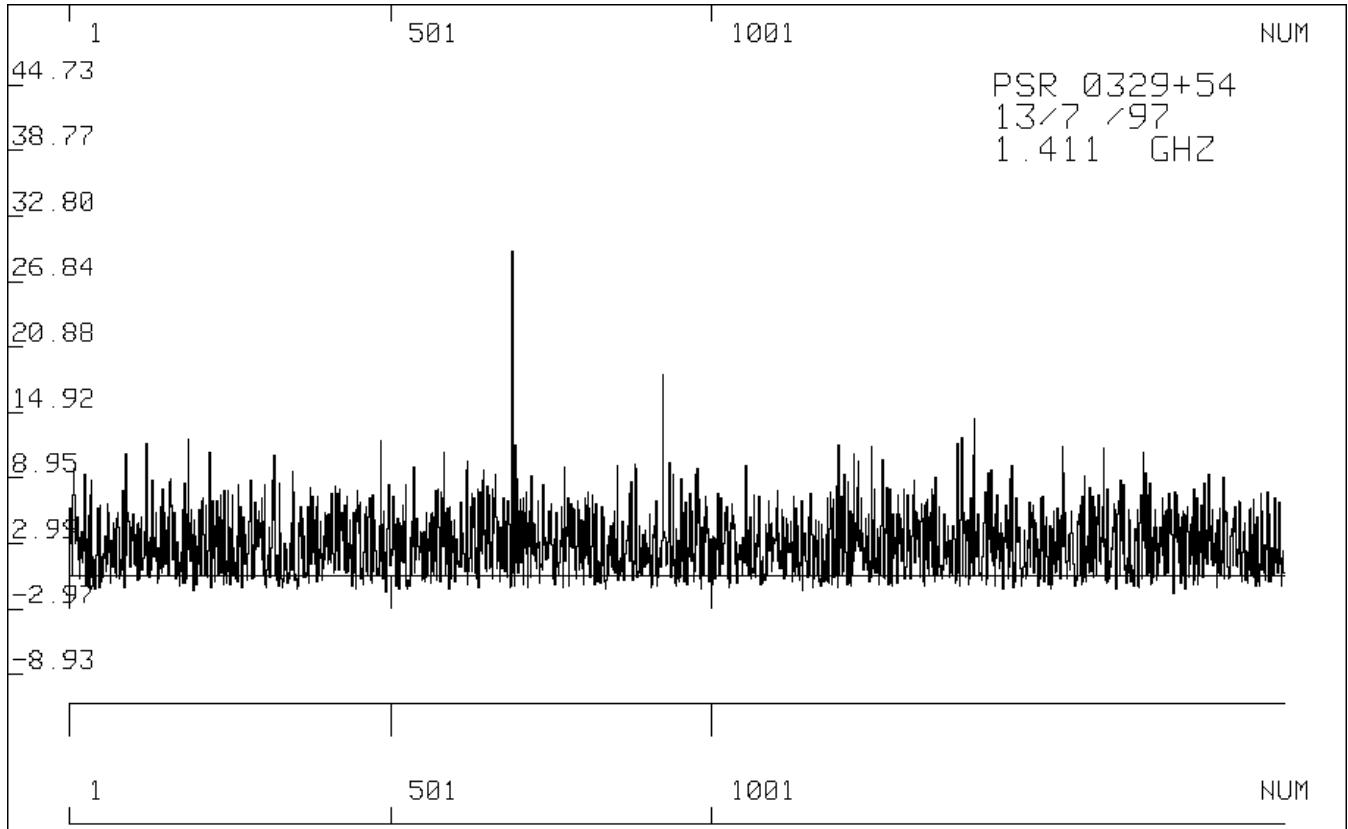


# Appendix: Histograms & Time-series

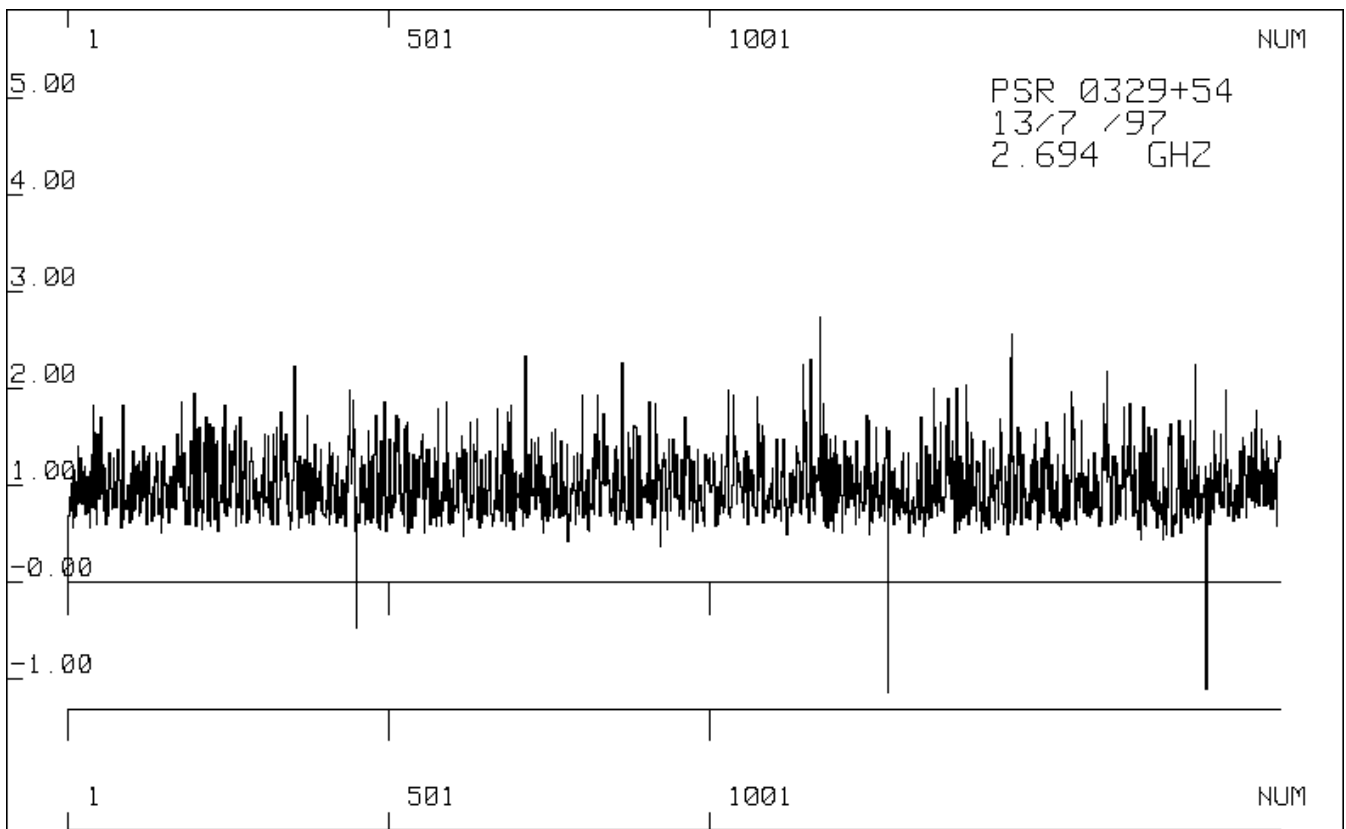
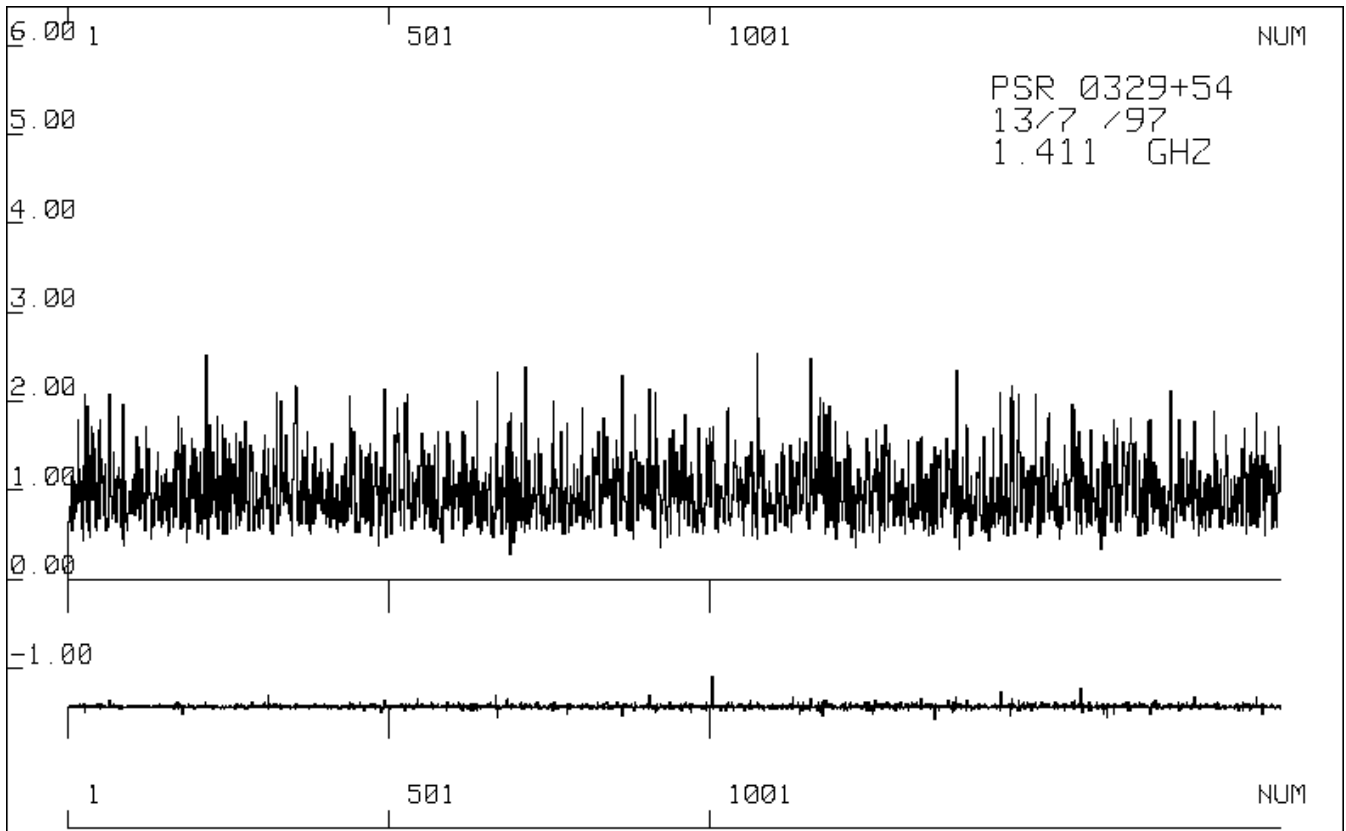
## INTEGRATED PROFILES AT 1.41 AND 2.69 GHz (1892 pulses added)



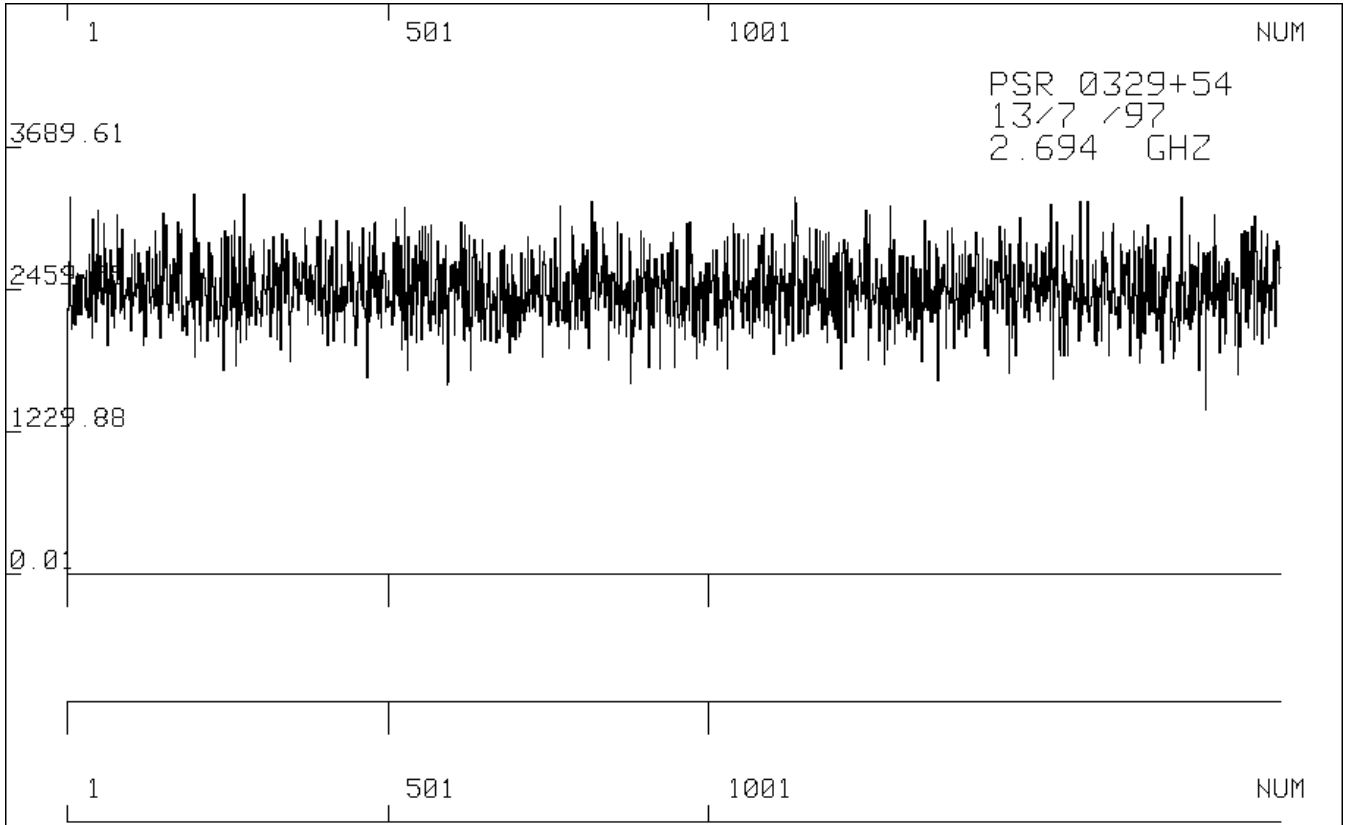
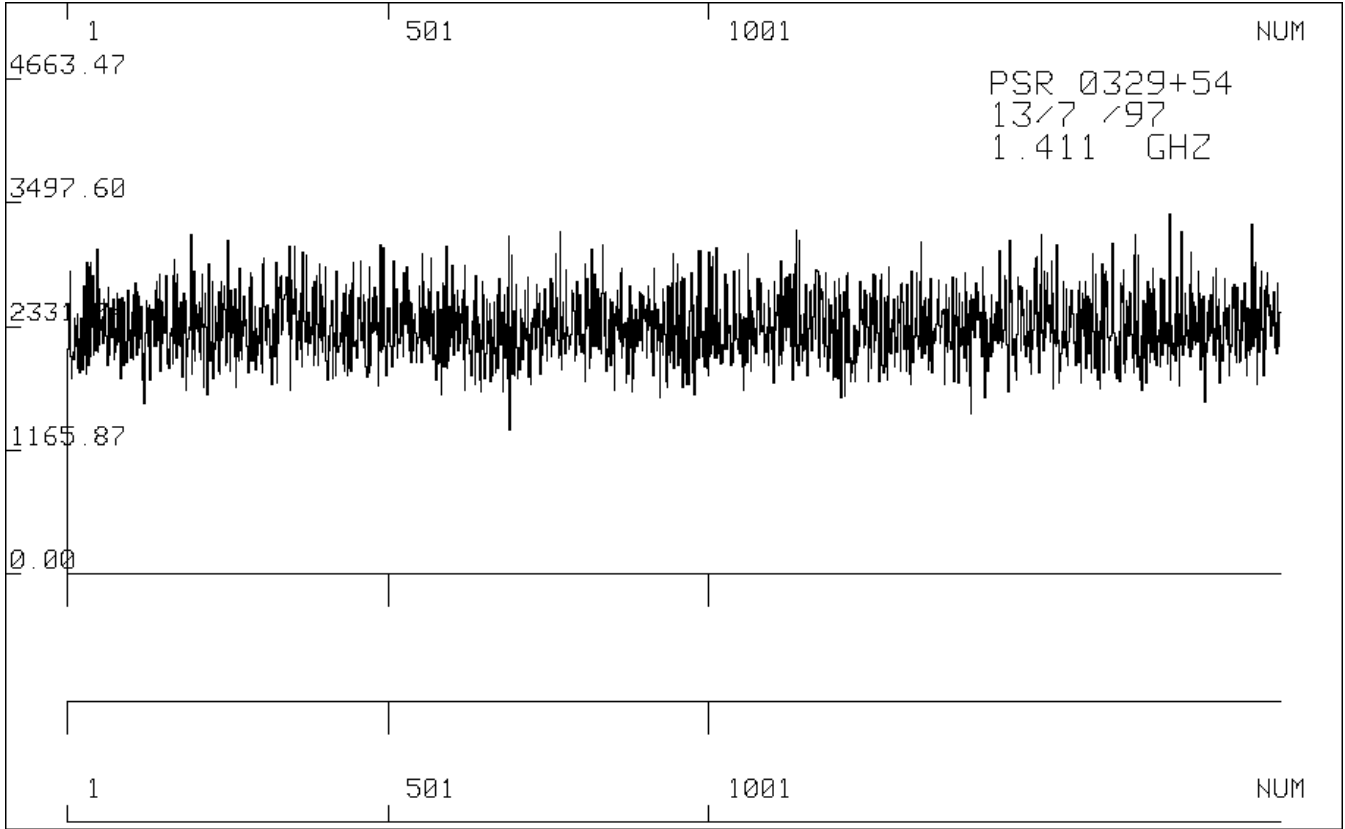
**TIME-SERIES FOR KURTOSIS AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(ON)**



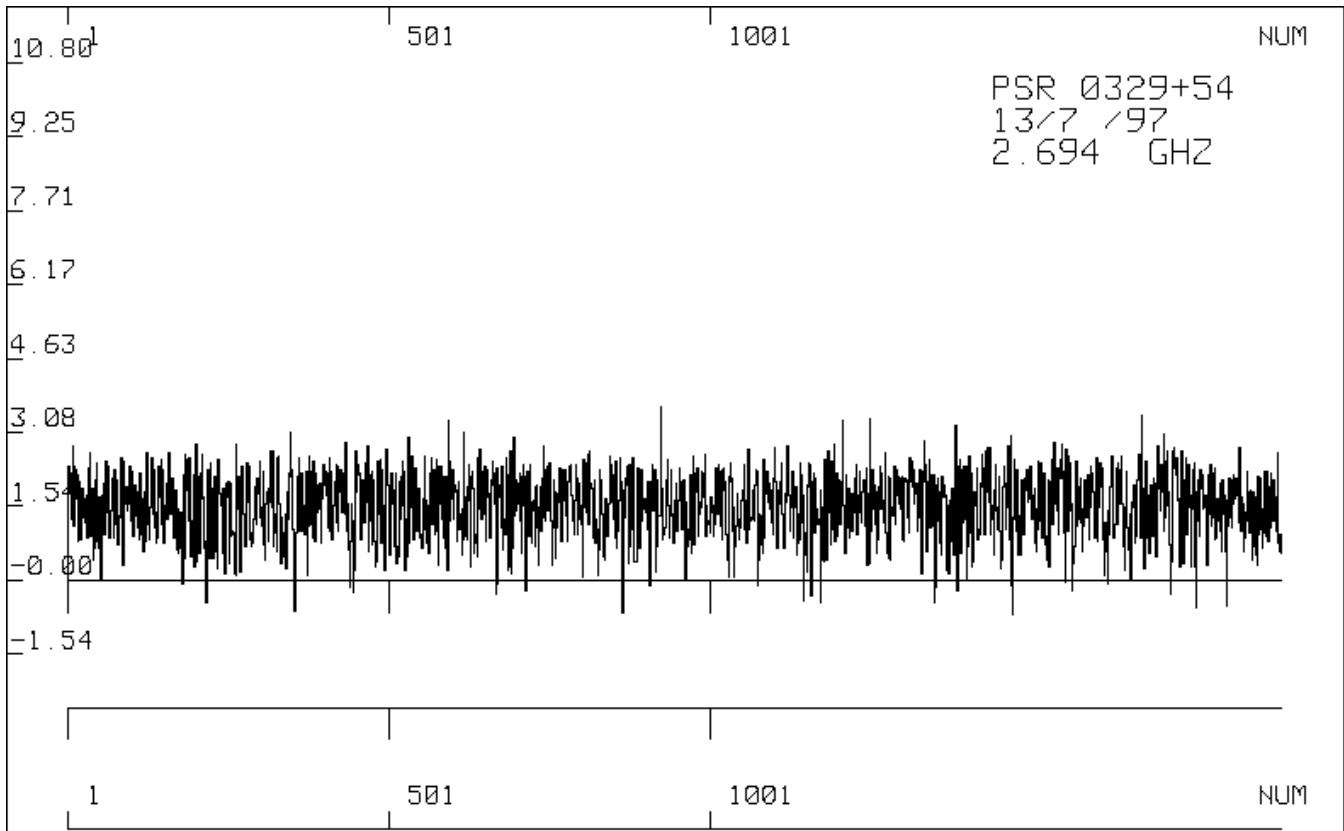
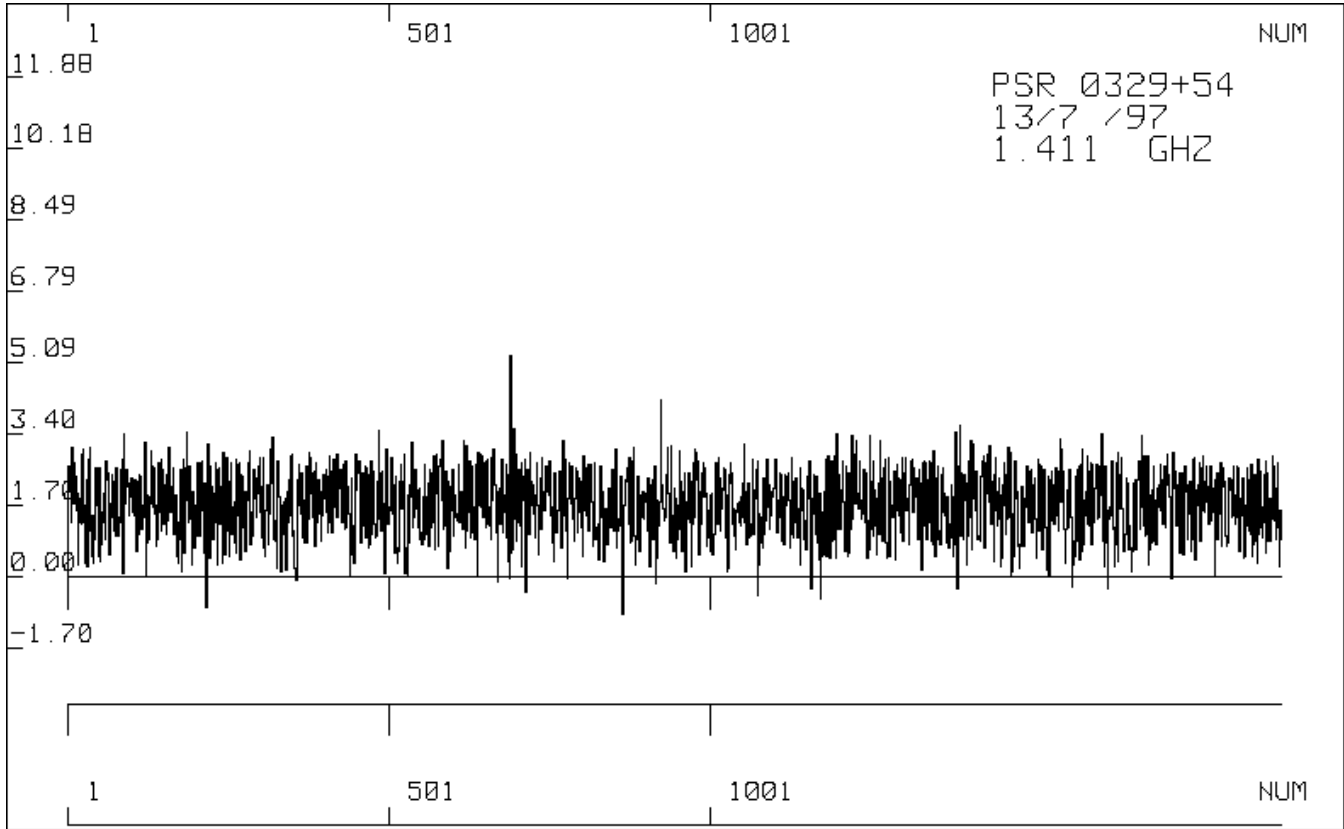
**TIME-SERIES FOR MEAN AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(ON)**



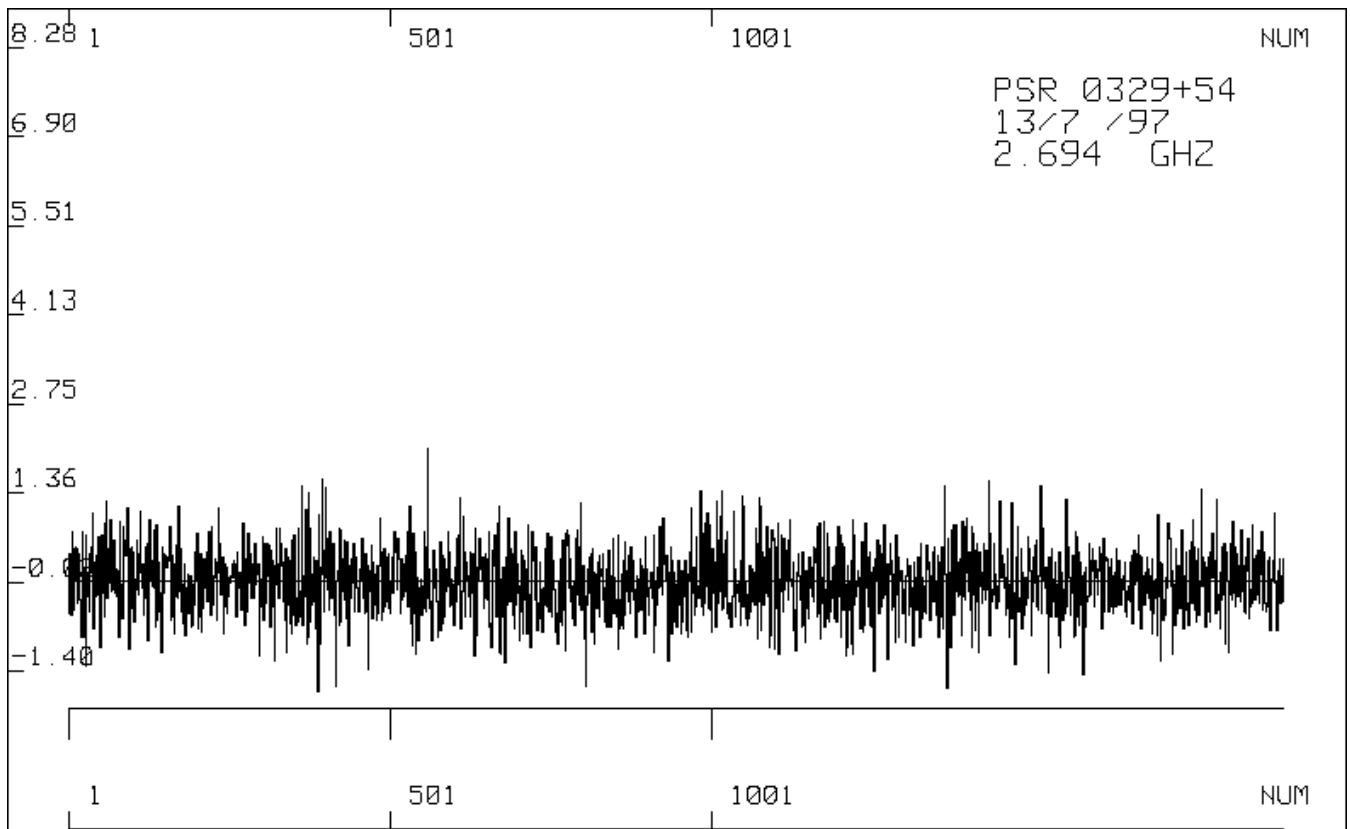
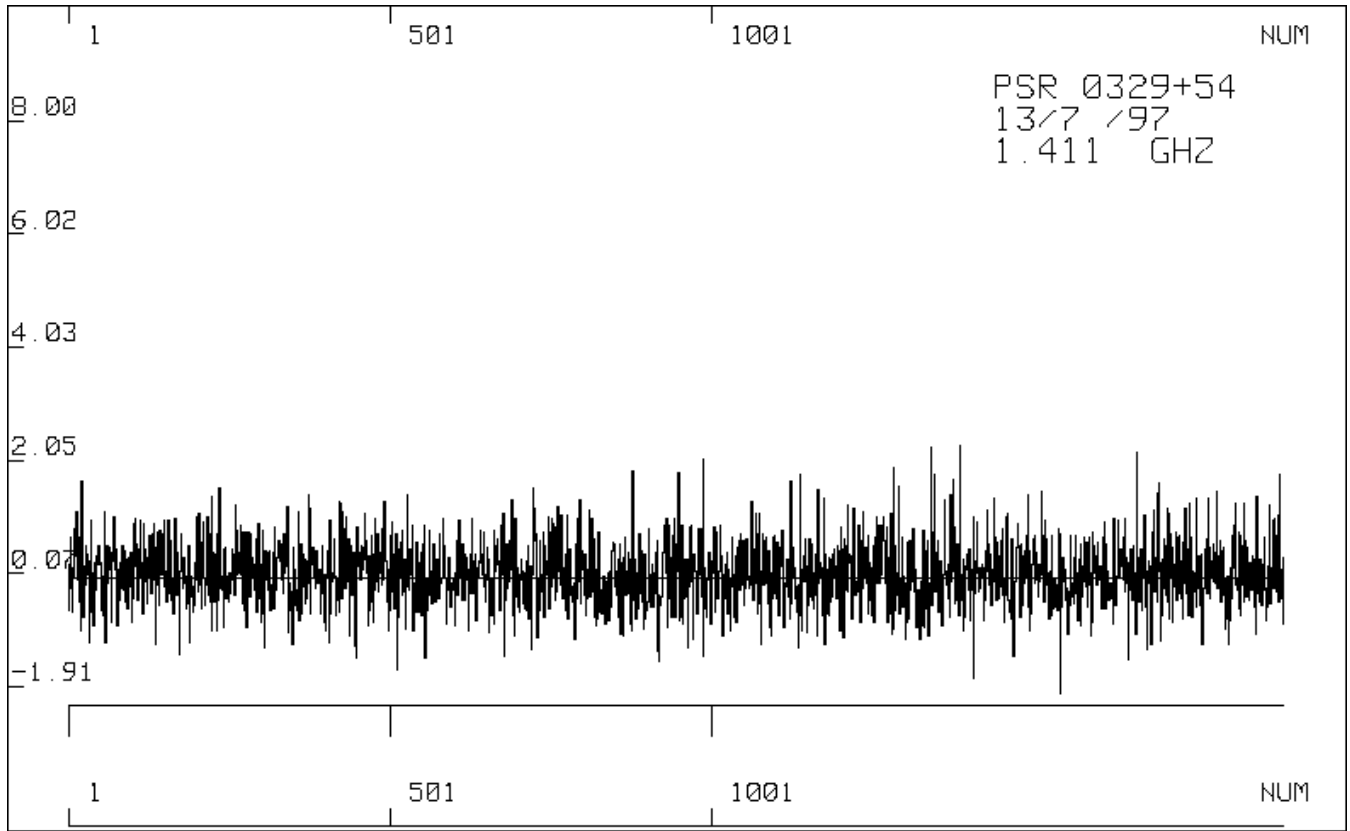
**TIME-SERIES FOR SIGMA AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(ON)**



**TIME-SERIES FOR SKEWNESS AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(ON)**

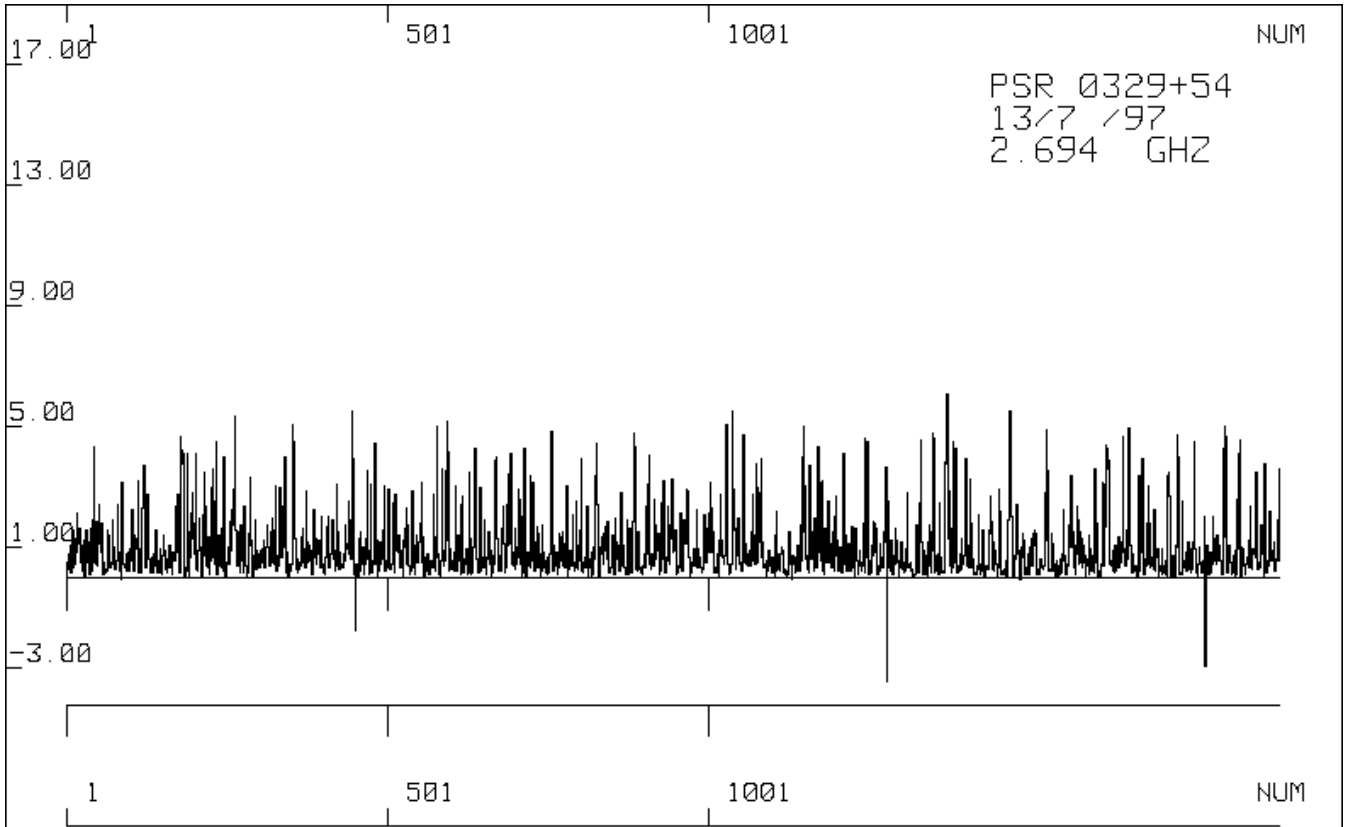
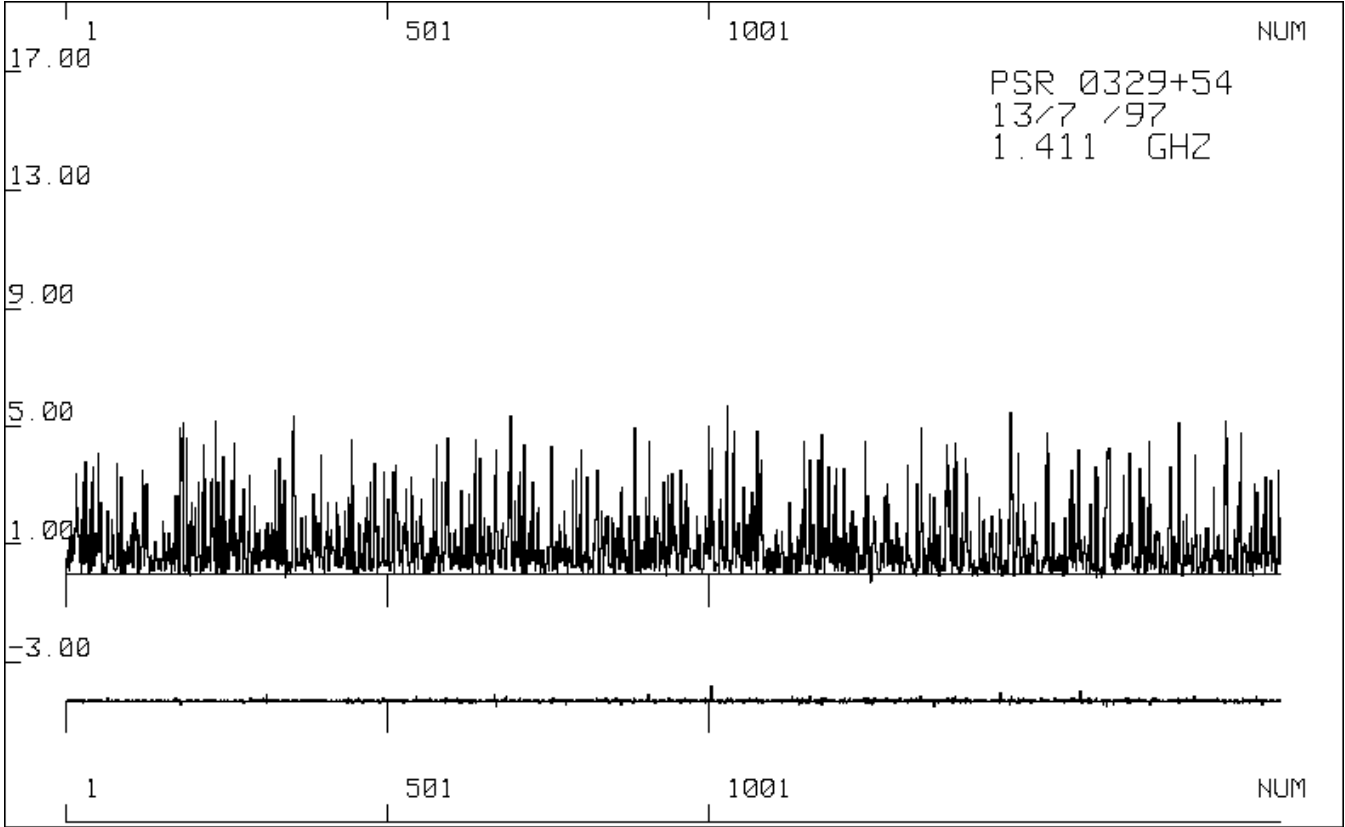


**TIME-SERIES FOR SKEWNESS AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(COM 1)**

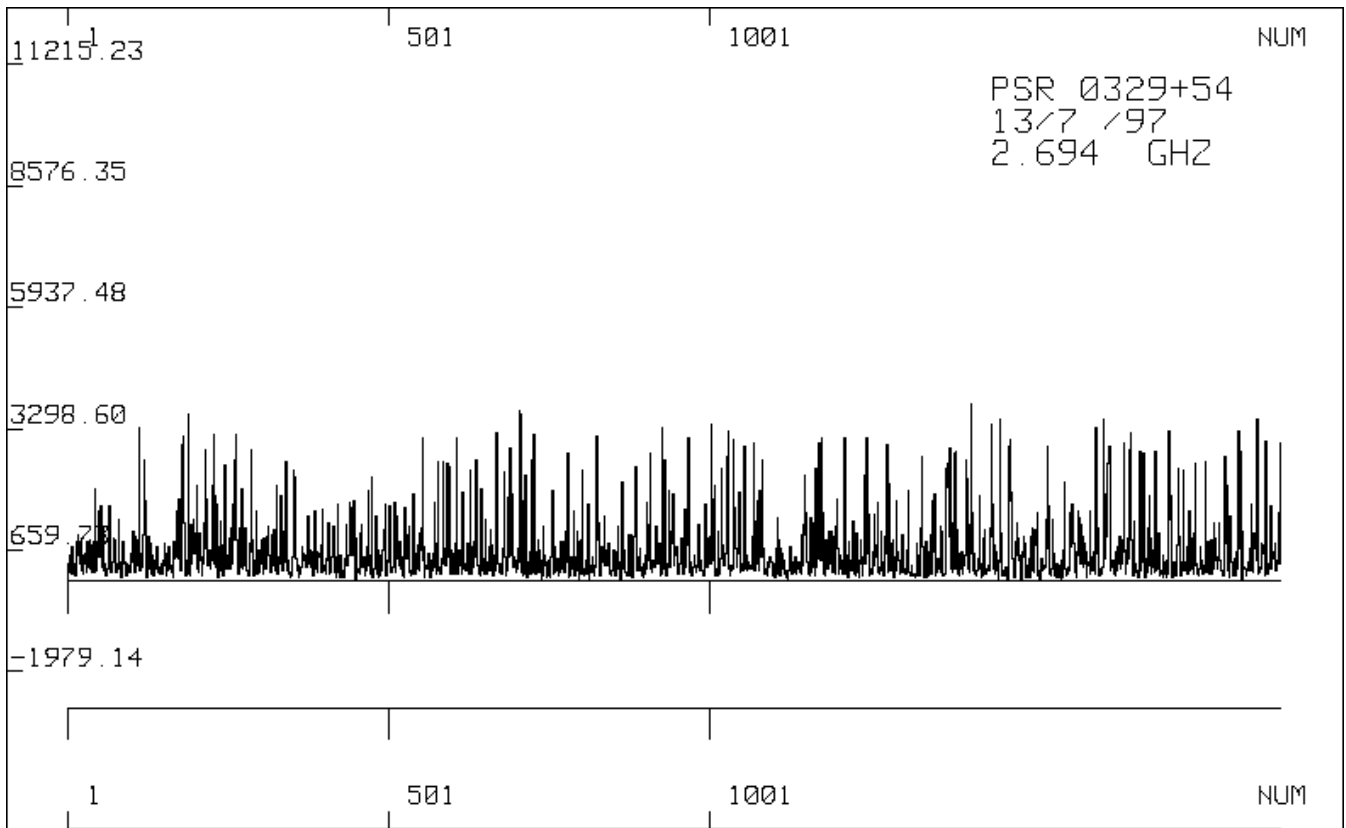
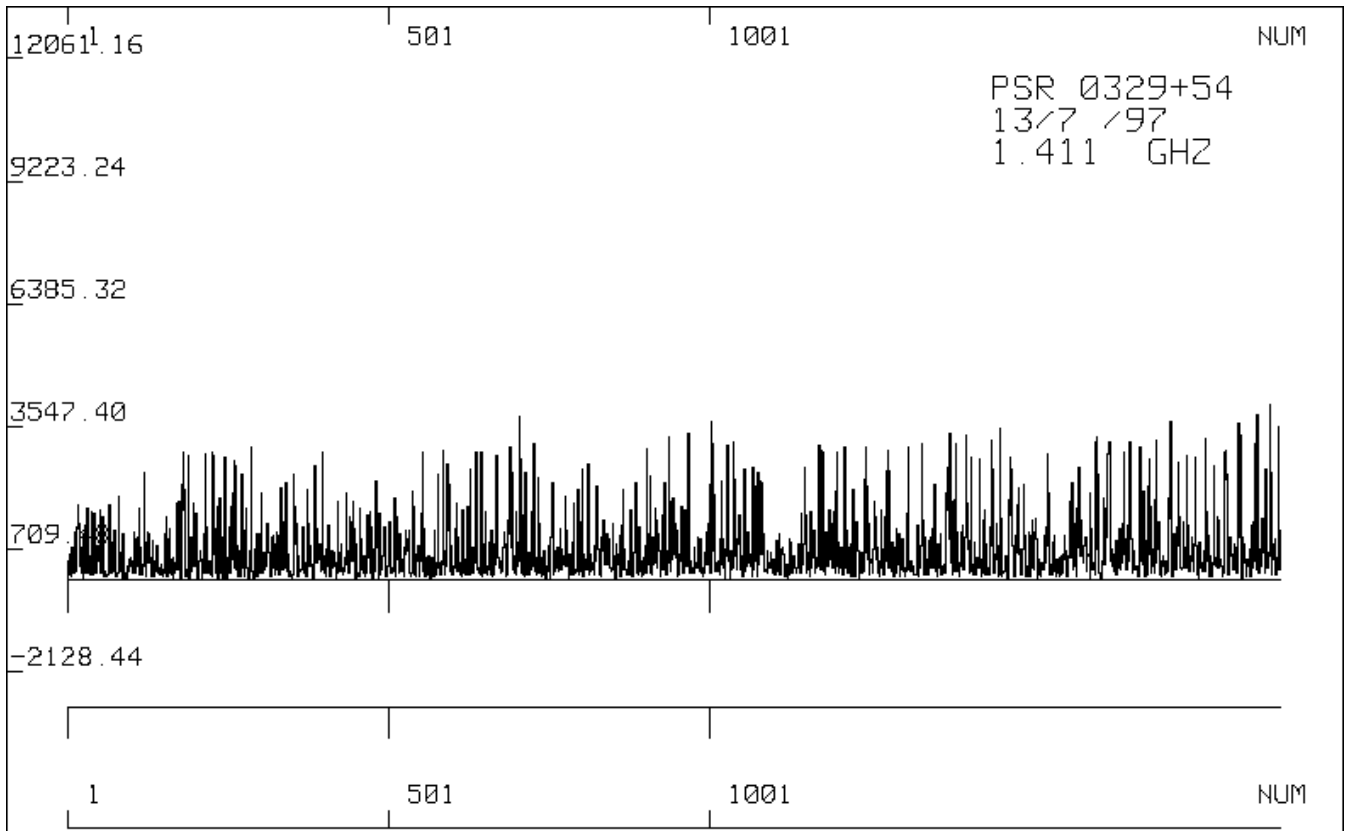




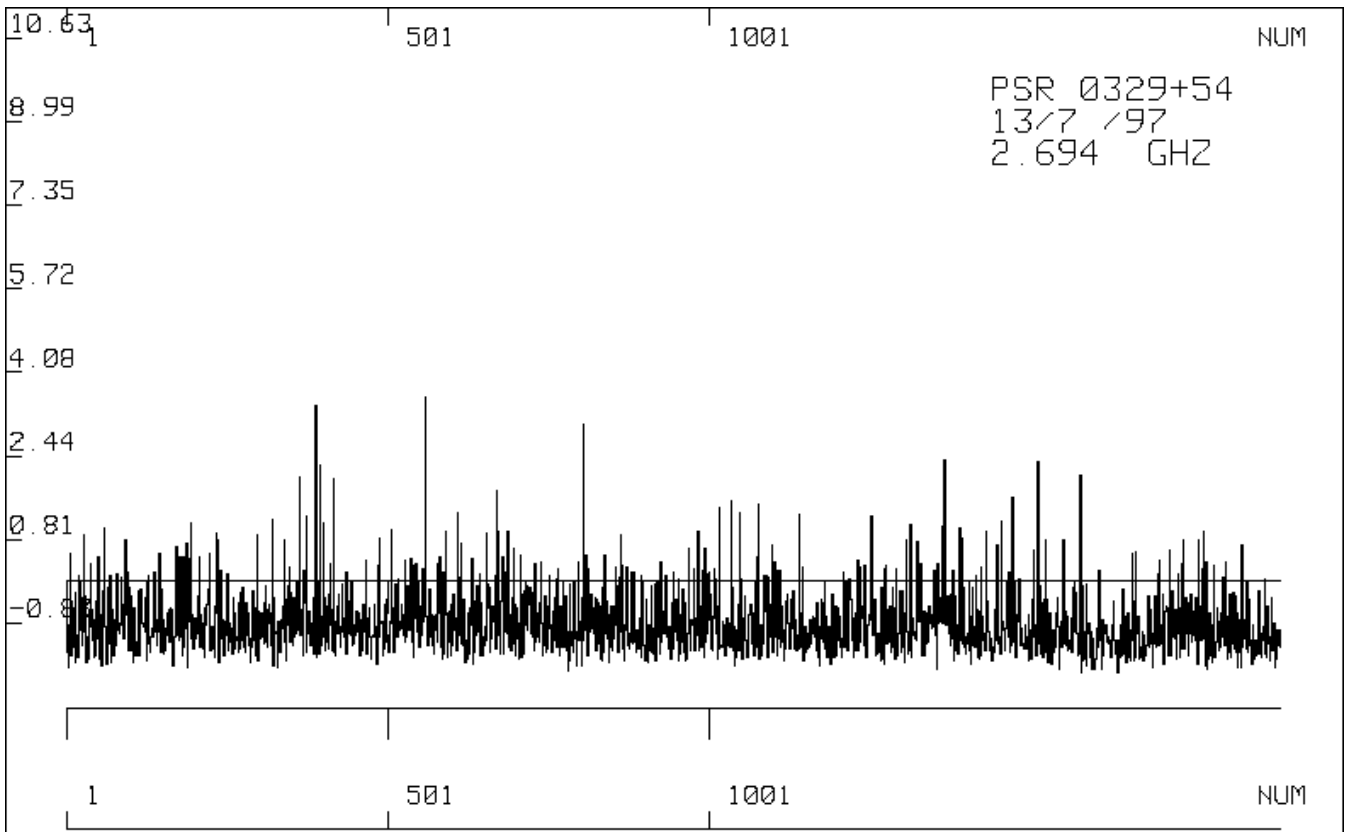
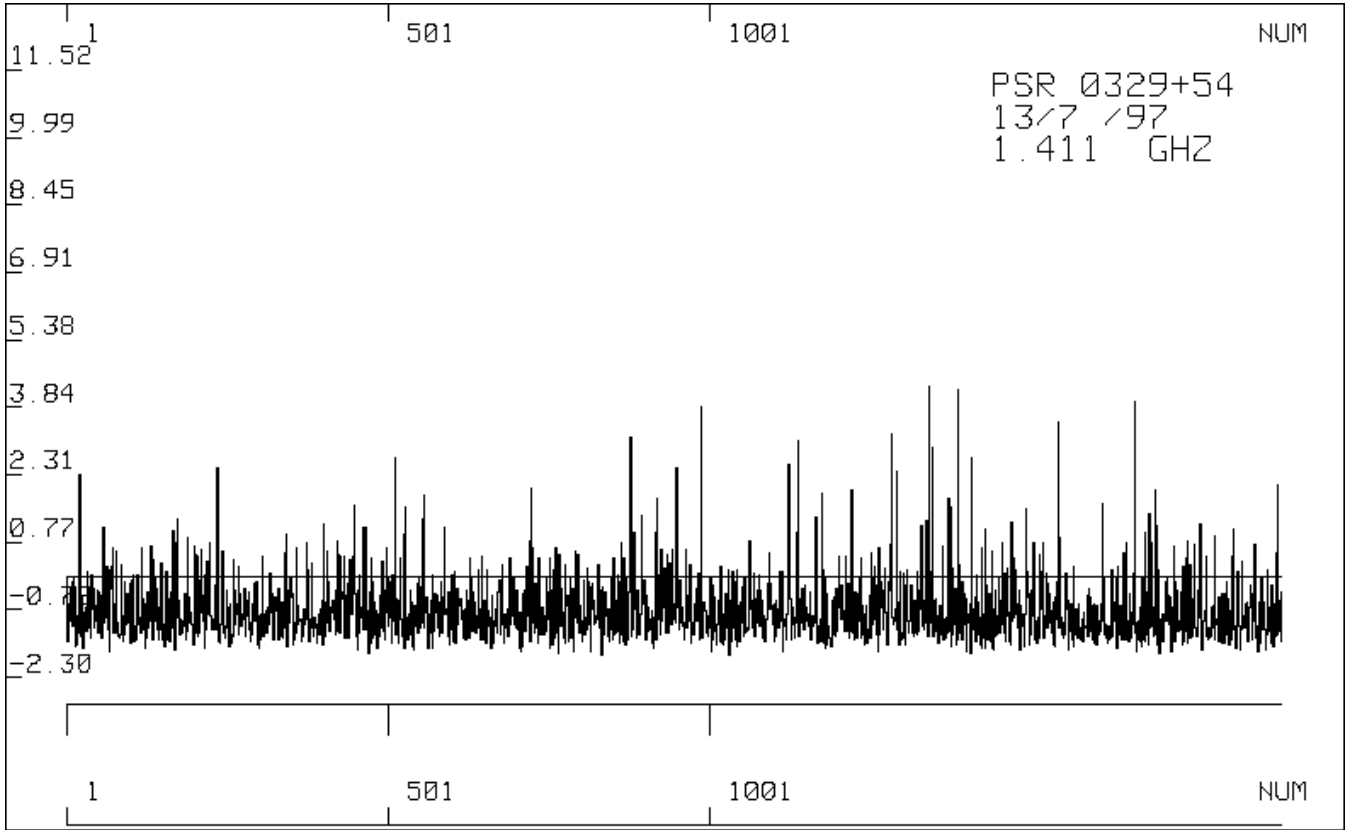
**TIME-SERIES FOR MEAN AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(COM 1)**



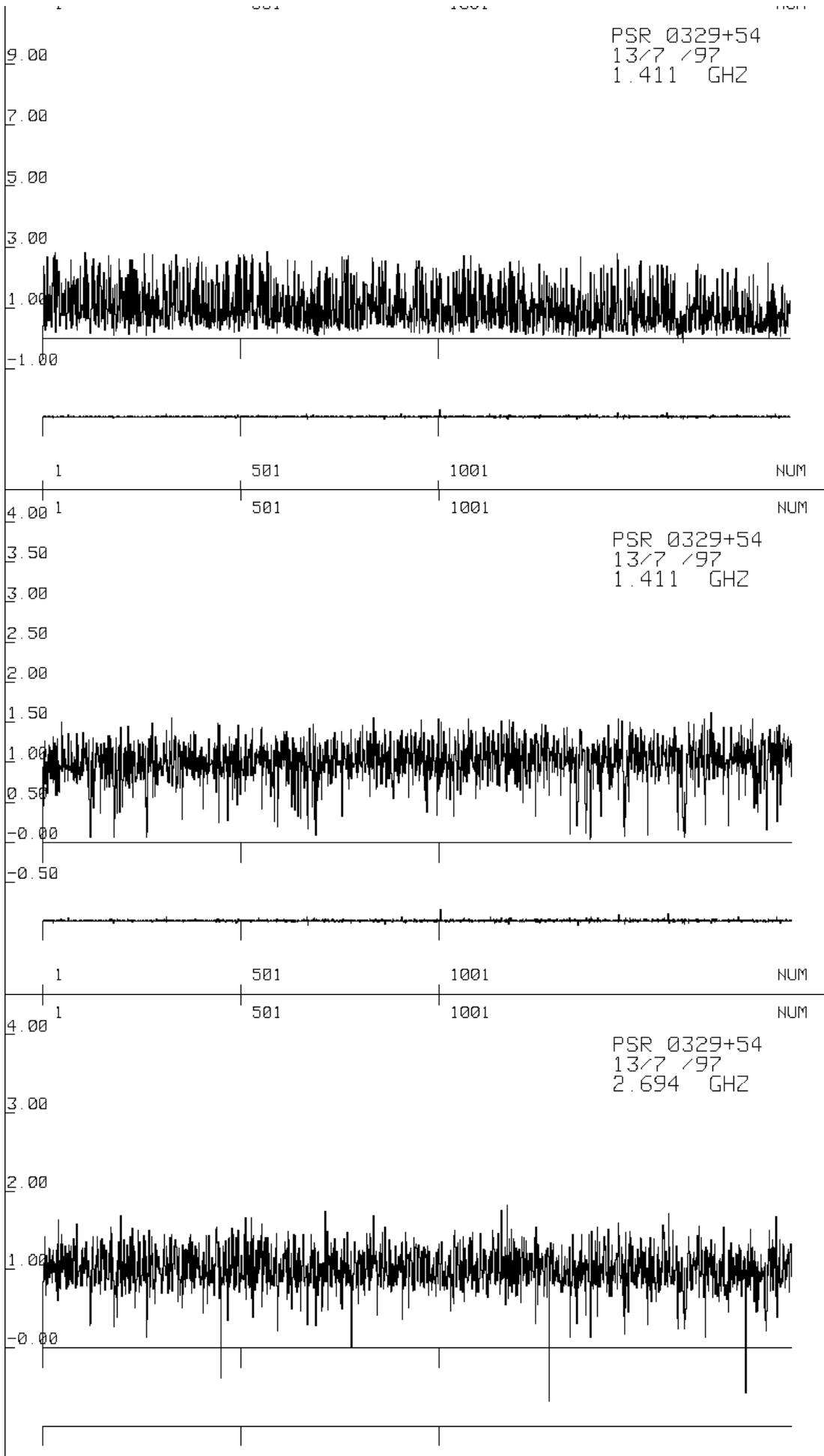
**TIME-SERIES FOR SIGMA AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(COM 1)**



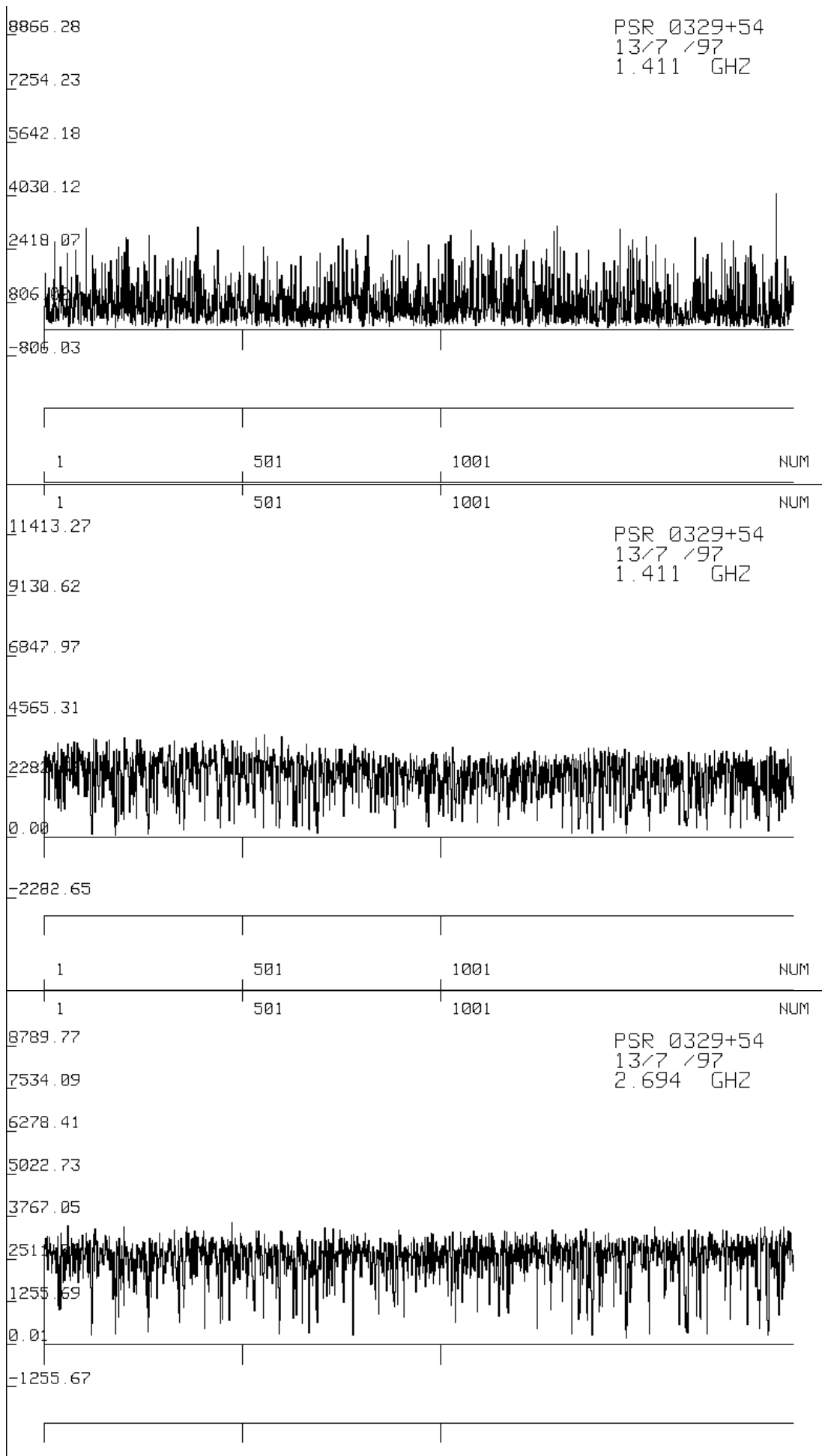
**TIME-SERIES FOR KURTOSIS AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(COM 1)**



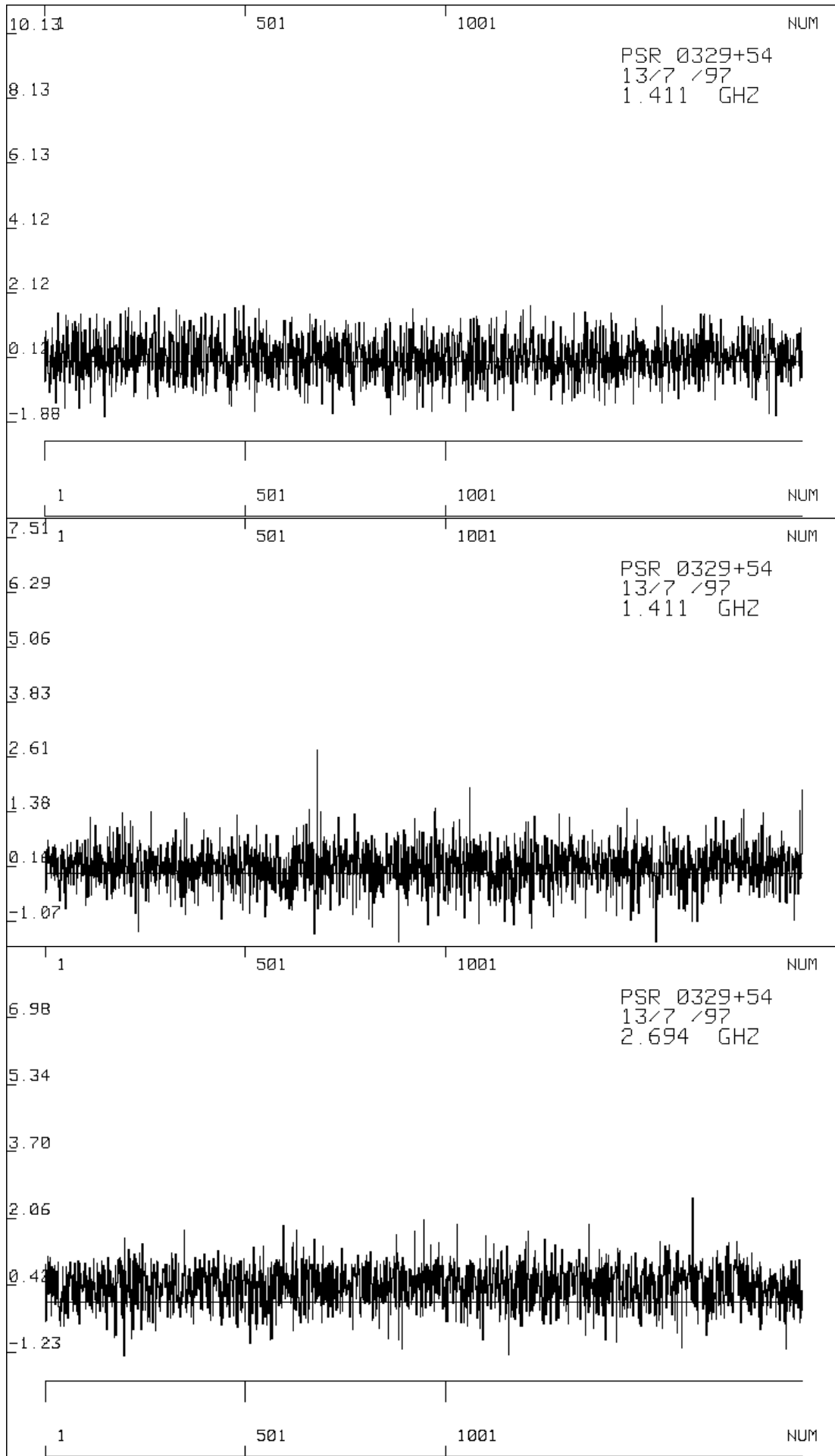
(COM 2, COM 3 AT 1.41 GHz & COM 2 AT 2.69 GHz)



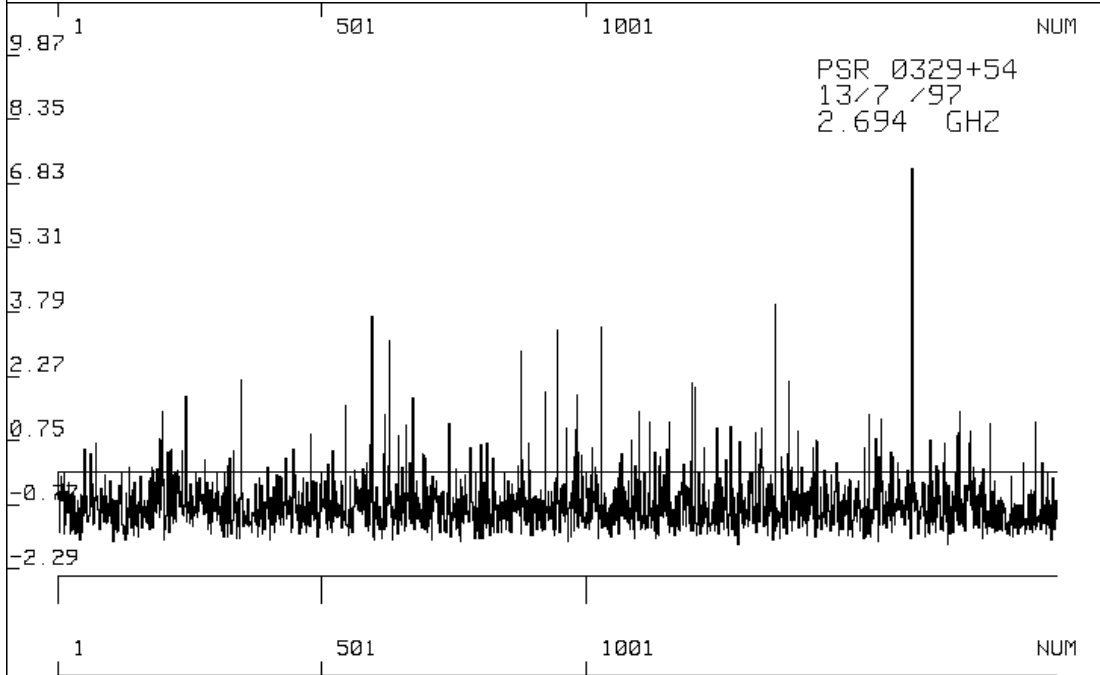
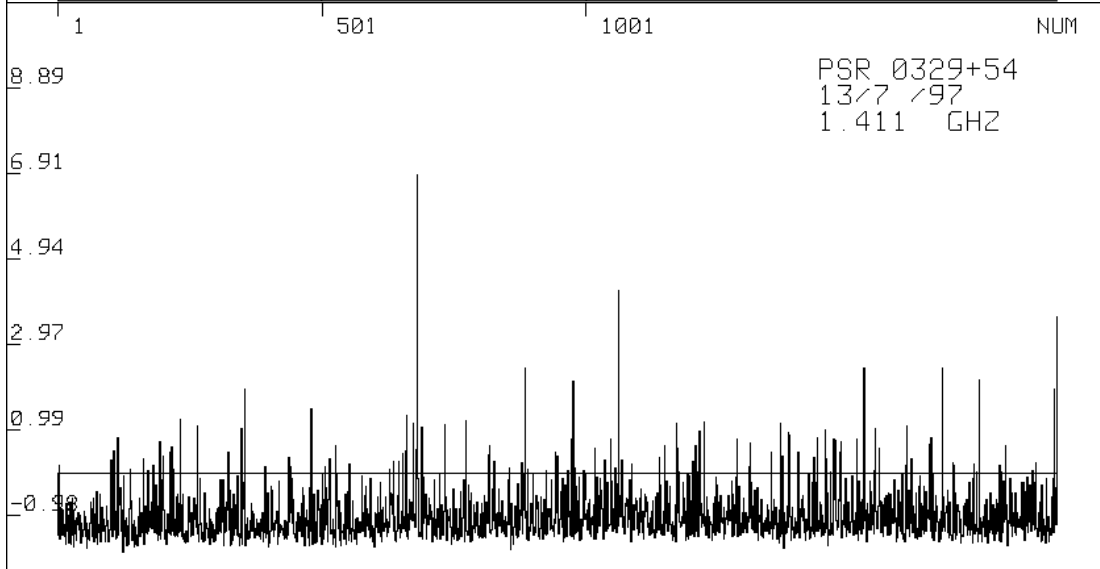
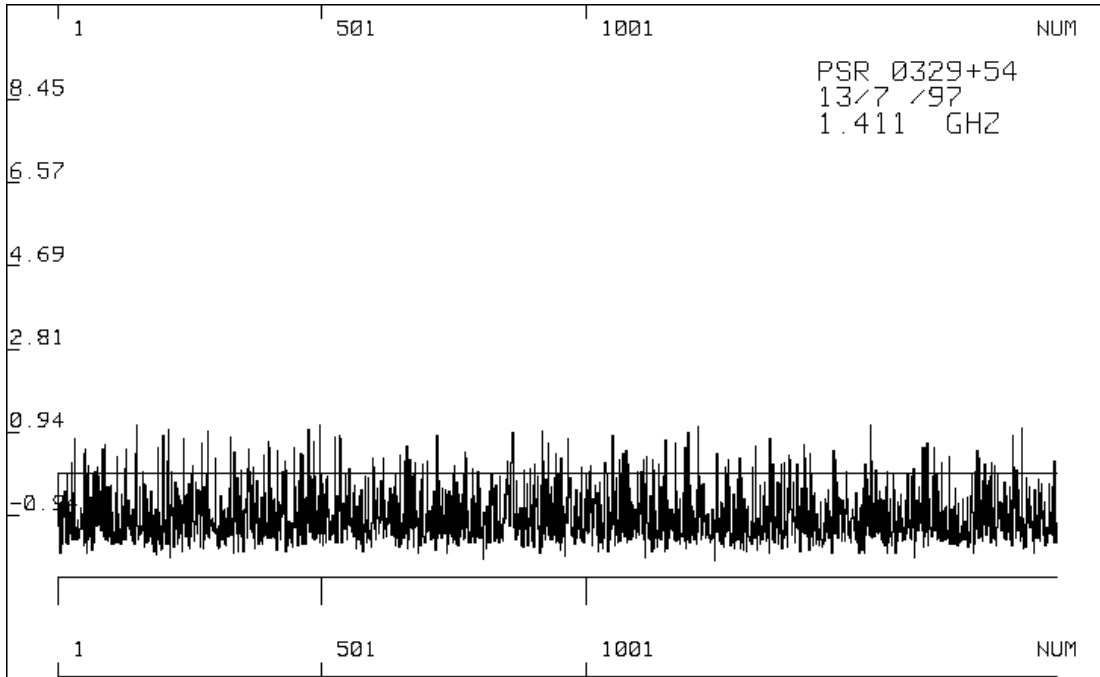
(COM 2, COM 3 AT 1.41 GHz & COM 2 AT 2.69 GHz)



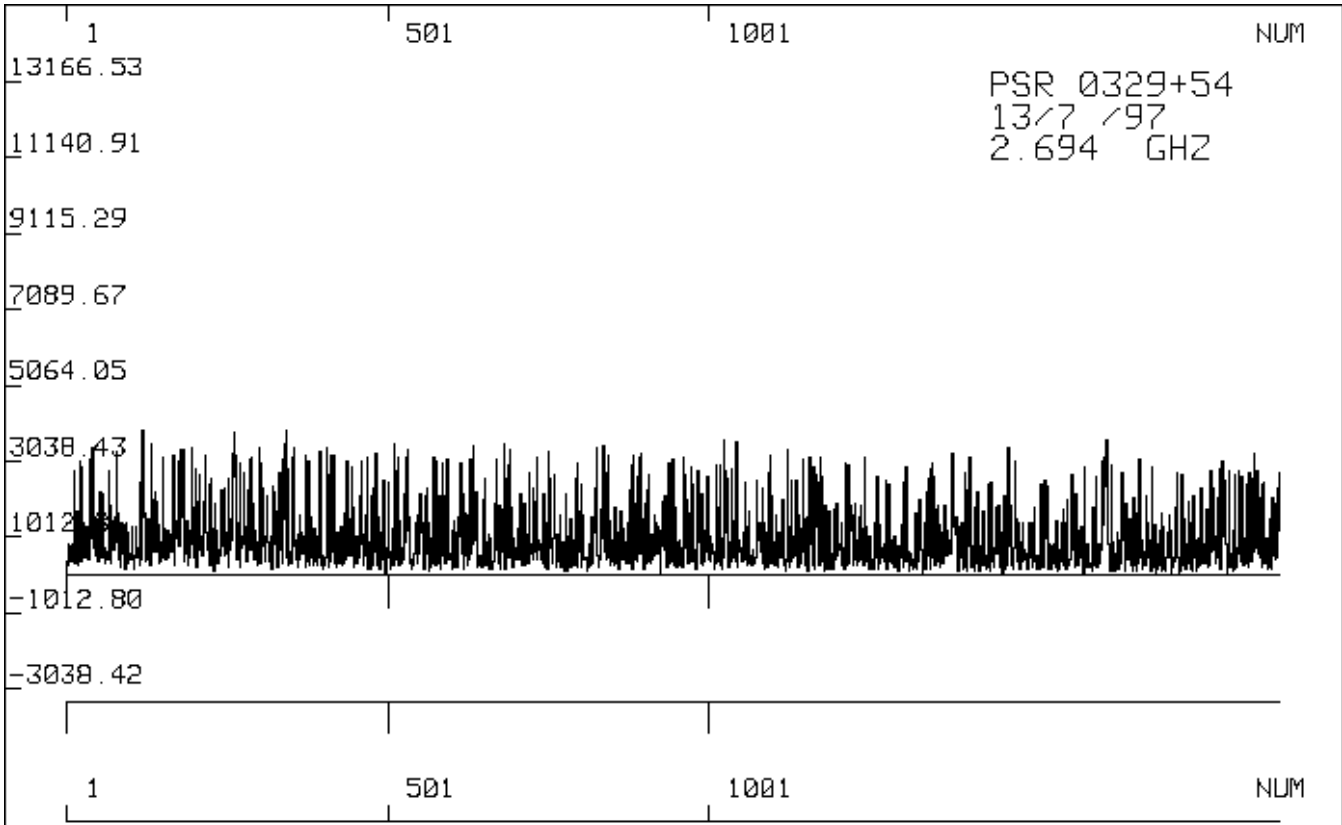
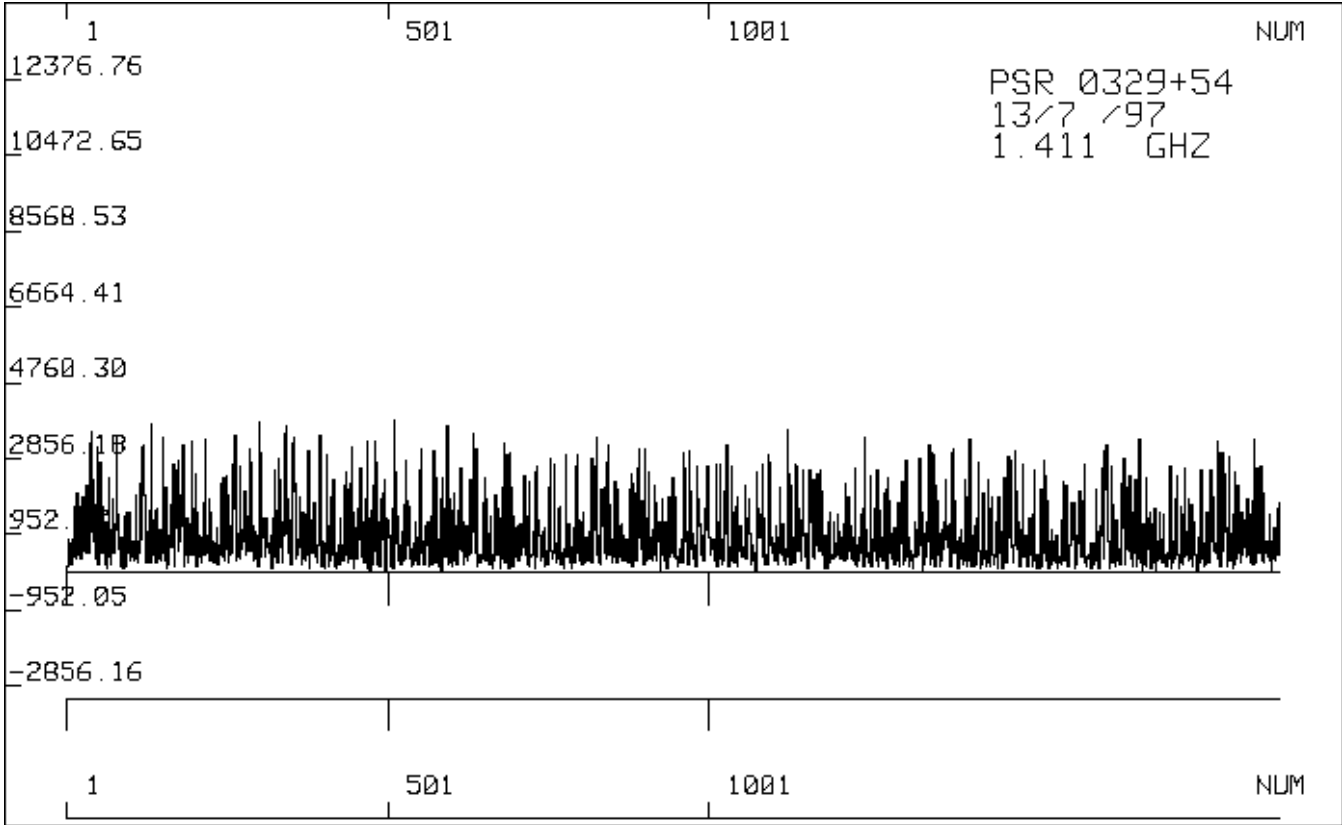
(COM 2, COM 3 AT 1.41 GHz & COM 2 AT 2.69 GHz)



(COM 2, COM 3 AT 1.41 GHz & COM 2 AT 2.69 GHz)

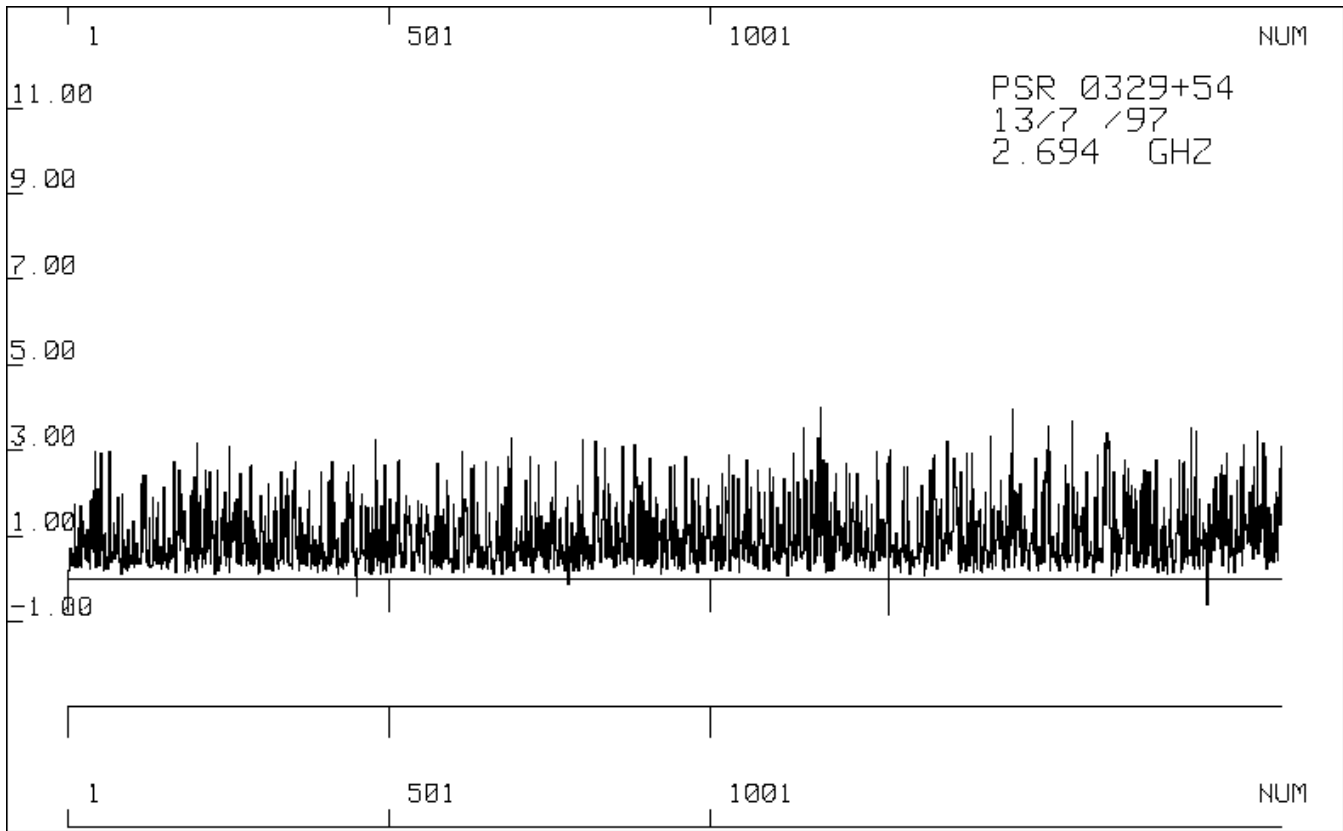
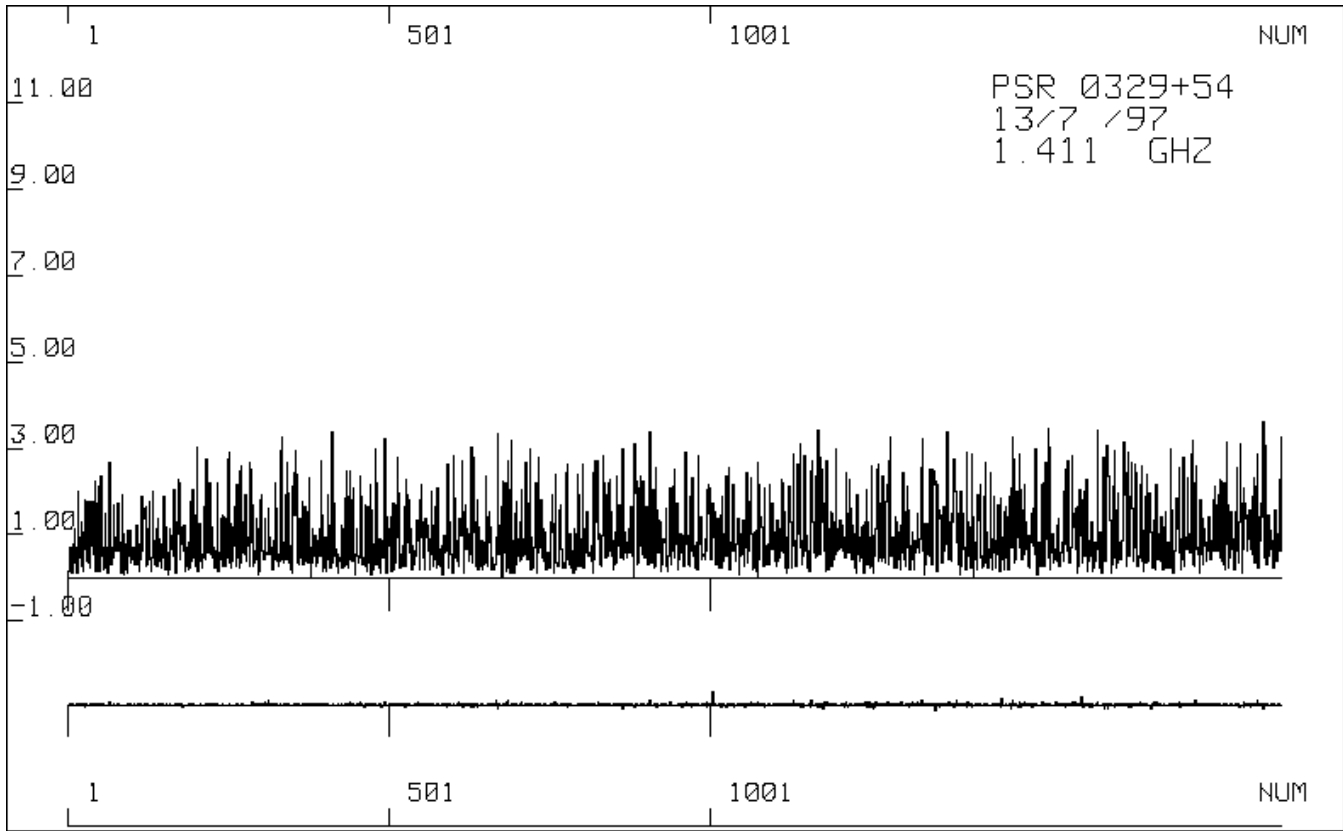


**TIME-SERIES FOR SIGMA AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(COM 5 AT 1.41 GHz & COM 3 AT 2.69 GHz)**

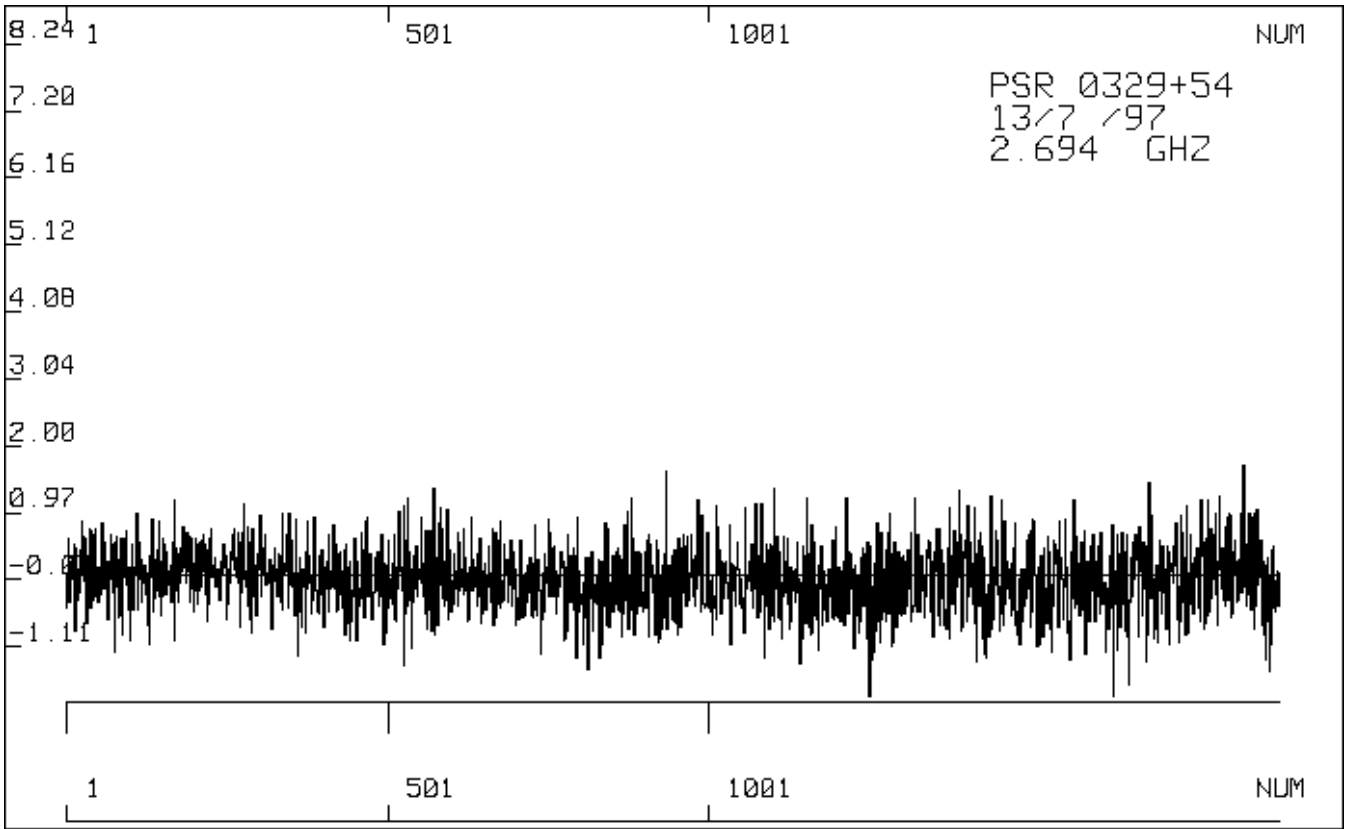
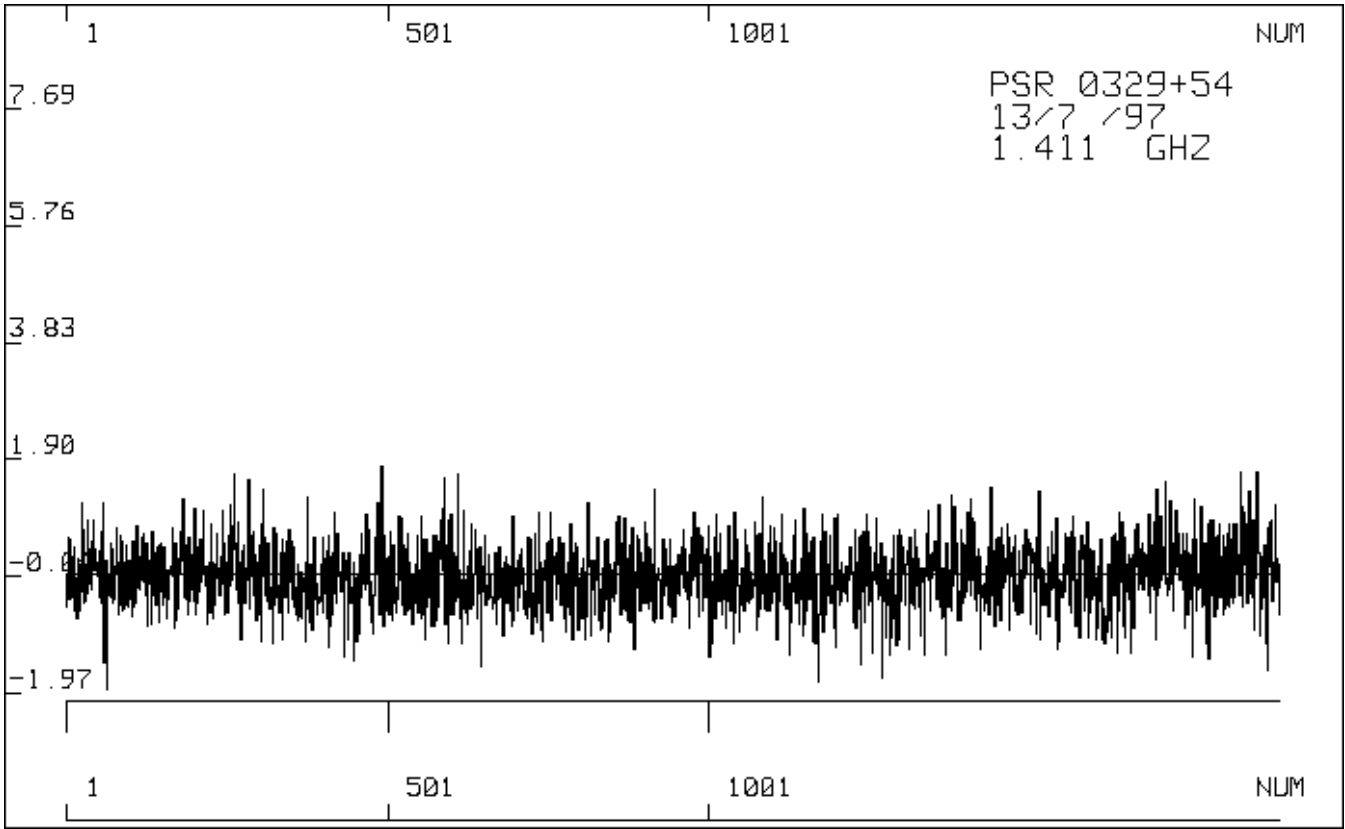




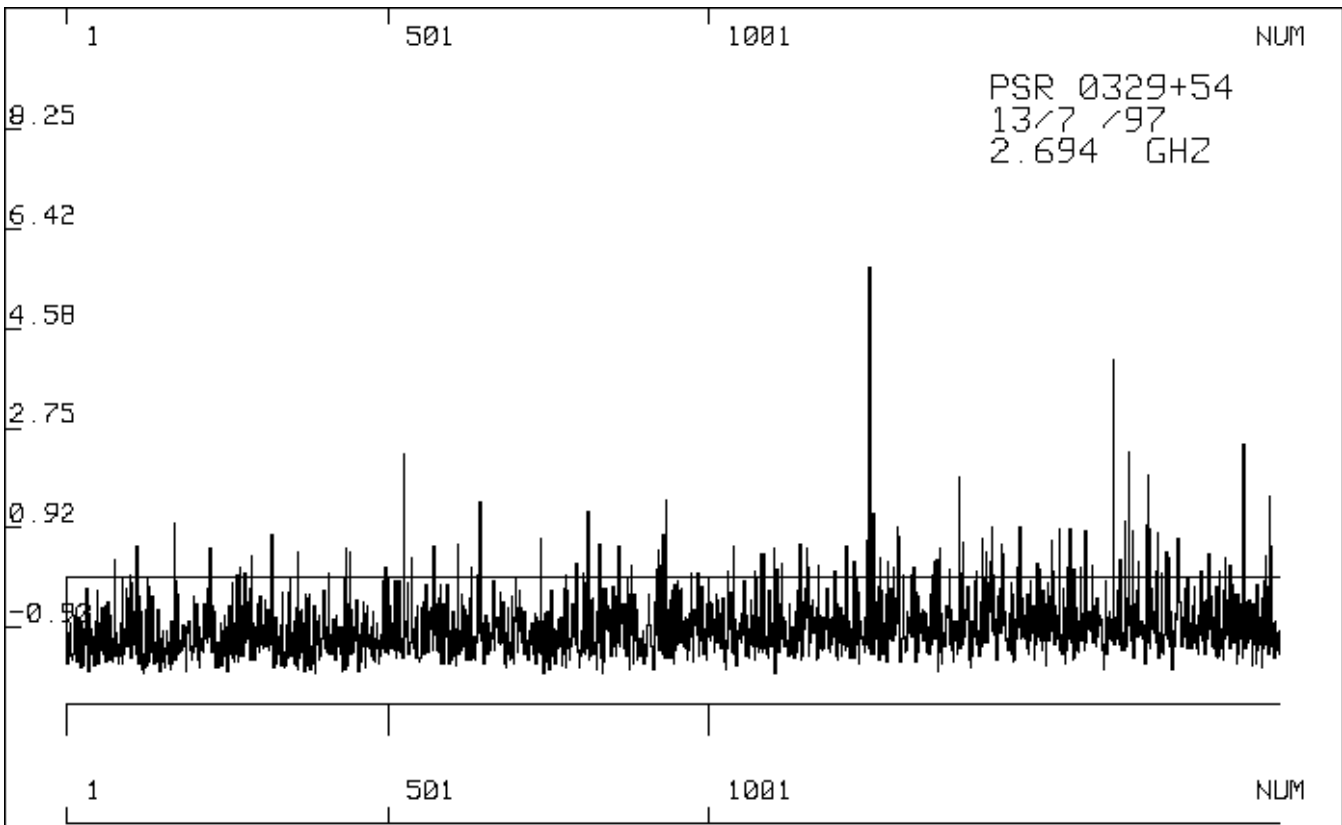
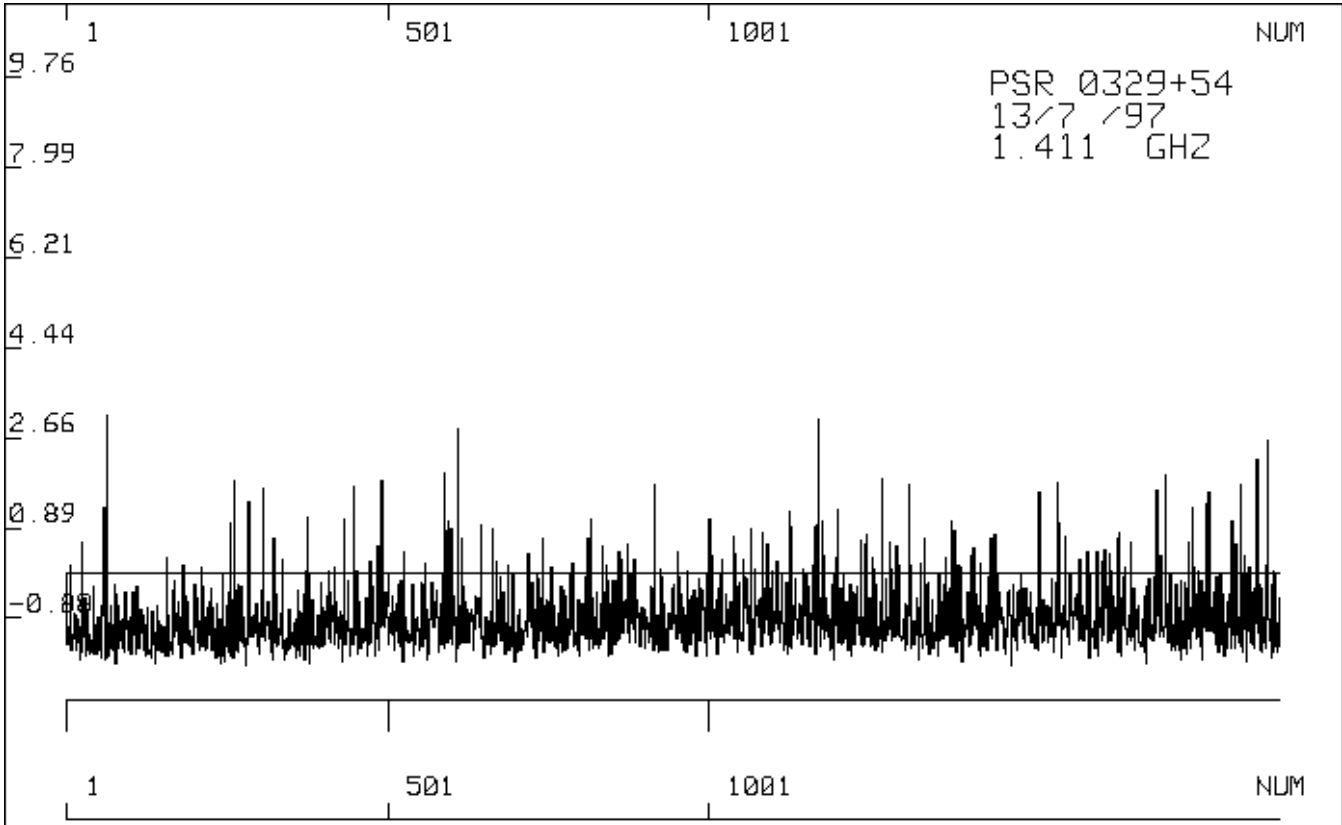
**TIME-SERIES FOR MEAN AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(COM 5 AT 1.41 GHz & COM 3 AT 2.69 GHz)**



**TIME-SERIES FOR SKEWNESS AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(COM 5 AT 1.41 GHz & COM 3 AT 2.69 GHz)**



**TIME-SERIES FOR KURTOSIS AT 1.41 AND 2.69 GHz  
(COM 5 AT 1.41 GHz & COM 3 AT 2.69 GHz)**



(COM 4)

